



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Katedra vozidel a motorů

**VNITŘNÍ OKRUH CHLAZENÍ VODNÍ VÝKONOVÉ BRZDY
SCHENCK D700**

**INTERNAL COOLING CIRCLE OF WATER DYNAMOMETER
SCHENCK D700**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jan Farář

Květen 2012



Katedra vozidel a motorů

Obor: 2301R022 Stroje a zařízení
Zaměření: Dopravní stroje a zařízení

**VNITŘNÍ OKRUH CHLAZENÍ VODNÍ VÝKONOVÉ BRZDY
SCHENCK D700**

**INTERNAL COOLING CIRCLE OF WATER DYNAMOMETER
SCHENCK D700**

Bakalářská práce

KVM – BP – 143

Jan Farář

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Celestýn SCHOLZ, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Petr STARÝ

Počty:

stran	slov	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
46	7155	19	2	11	7

Květen 2012

Místo pro vložení originálního zadání BP

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, dne

podpis:

Vnitřní okruh chlazení vodní výkonové brzdy Schenck D700

Anotace

Tato bakalářská práce zpracovává téma vnitřního chladicího okruhu výkonové brzdy Schenck D700 po přesunu z laboratoře Katedry vozidel a motorů do nové laboratoře Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace. První část se zabývá podmínkami ve stávajícím a novém umístění brzdy a popisuje řešení v jiných lokalitách. Druhá část řeší technické varianty, uspořádání prvků v chladicím okruhu, porovnává navržená řešení a provádí potřebné výpočty. Závěrečná část obsahuje výkresovou dokumentaci vybrané varianty.

Klíčová slova: chlazení, dynamometr, výkonová brzda, vodní brzda, deskový výměník, PID regulace

Internal cooling circle of water dynamometer Schenck D700

Annotation

This thesis handles the topic of internal cooling circuit of dynamometer Schenck D700 when you move from the laboratory of the Department of vehicles and engines in the new laboratories of the Institute for Nanomaterials, advanced technologies and innovations. The first part deals with the conditions in the existing and the new location of the brake and describes the solutions in other locations. The second part describes the technical variations, the arrangement of elements in the cooling circuit, compares the solutions proposed and carried out the necessary calculations. The final section contains design documentation of selected solution.

Keywords: cooling, dynamometer, performance brake, water brake, plate heat exchanger, PID control

Desetinné třídění:	62-713.1 – Chlazení oběhem vody
Zpracovatel:	TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
Dokončeno :	2012
Archivní označení zprávy:	

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Prof. Ing. Celestýnu Scholzovi, Ph.D. za jeho vedení, poskytnuté informace a podnětné rady při zpracovávání daného tématu. Děkuji také konzultantovi Ing. Petru Starému za věcné připomínky a rady.

Dále bych rád poděkoval rodině a přátelům za podporu při studiu.

Seznam veličin

Q	objemový průtok	[m ³ /h], [dm ³ /h], [dm ³ /s]
P	výkon	[kW]
Δt	teplotní rozdíl	[°C]
t_E	teplota na vstupu do brzdy	[°C]
t_A	teplota na výstupu z brzdy	[°C]
Δt_{\min}	minimální teplotní rozdíl	[°C]
Δp_{ZTR}	tlaková ztráta	[kPa],[bar]
Δp_V	tlaková ztráta výměníku	[kPa], [bar]
S	průtočný průřez	[m ²], [mm ²]
w	rychlost proudění	[m/s]
p_E	tlak na vstupu do brzdy	[kPa], bar]
p_{RT2}	tlak na výstupu RT	[kPa]
Δp_{RT}	tlaková ztráta RT	[kPa]
K _{vs}	jmenovitý průtokový součinitel	[m ³ /h]
K _v	průtokový součinitel	[m ³ /h]
Q _{nom}	nominální průtok	[m ³ /h]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
d _u	charakteristický rozměr potrubí	[m]
v	kinematická viskozita	[m ² /s]

Seznam použitých zkratk

KVM	Katedra vozidel a motorů
LPJ	Laboratoř pohonných jednotek
CxI	Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace
lab.	laboratoř
obr.	obrázek
tab.	tabulka
kap.	kapitola
tj.	to je
atd.	a tak dále
např.	například
popř.	popřípadě
č.v.	číslo výkresu
dH	německý stupeň tvrdosti vody
°F	francouzský stupeň tvrdosti vody
M	motor
D	dynamometr
A,B,C	výměníky
OČ	oběhové čerpadlo
3CV	třícestný ventil
2CV	dvoucestný ventil
RT	regulátor tlaku
VP	ventil pojistný

1	ÚVOD.....	11
1.1	PŘEHLED ZPŮSOBŮ CHLAZENÍ HYDRAULICKÝCH VÝKONOVÝCH BRZD	11
1.1.1	Chladicí věže	11
1.1.2	Typy tepelných výměníků podle konstrukce	12
1.1.3	Regulační prvky	16
1.1.4	Úprava kvality vody	16
1.1.5	Měřicí prvky	16
1.1.6	Čerpadla	16
1.1.7	Nádrže, zásobníky	16
1.1.8	Armatury	16
1.1.9	Využití energie	17
1.1.10	Stávající řešení	17
2	VSTUPNÍ ÚDAJE.....	19
2.1	LABORATOŘ CXI.....	19
2.2	TEPELNÁ BILANCE MOTOROVÉ KOBKY	20
2.3	MANUÁL BRZDY SCHENCK D700	21
2.4	VYČIŠTĚNÍ DYNAMOMETRU PŘED INSTALACÍ	25
2.5	RYCHLOSTI PROUDĚNÍ V POTRUBÍ.....	25
3	NÁVRHY KONSTRUKČNÍCH VARIANT	26
3.1	PRVKY	26
3.2	ZPŮSOB REGULACE SYSTÉMU	27
3.3	VARIANTY ZAPOJENÍ	27
3.3.1	Varianta 1 - 3CV ve směšovací funkci, přiřazování výměníků 2CV.....	27
3.3.2	Varianta 2 - 3CV ve směšovací funkci, přiřazování výměníků kulovými ventily..	28
3.3.3	Varianta 3 - 3CV v rozdělovací funkci, přiřazování výměníků 2CV.....	29
3.3.4	Varianta 4 - 3CV v rozdělovací funkci, přiřazování výměníků kulovými ventily ..	29
3.3.5	Výběr zvolené varianty.....	30
4	TECHNICKÉ ŘEŠENÍ	31
4.1	ČINNÉ ČÁSTI	31
4.1.1	Regulátor tlaku.....	31
4.1.2	Výměníky.....	32
4.1.2.1	výběr typu výměníku	32
4.1.2.2	zhodnocení kombinací a výběr deskových výměníků	32
4.1.3	Třícestný ventil(3CV).....	32
4.1.4	Čerpadlo	34

4.2	MĚŘÍCÍ A ŘÍDÍCÍ PRVKY	34
4.2.1	<i>Teplotní čidla</i>	34
4.2.2	<i>PID řízení směšovacího ventilu</i>	34
4.2.3	<i>Manometry a teploměry</i>	35
4.2.4	<i>Průtokoměr</i>	35
4.3	FILTRAČNÍ, SPOJOVACÍ A DALŠÍ	35
4.3.1	<i>Uzavírací ventily</i>	35
4.3.2	<i>Filtry</i>	35
4.3.3	<i>Spojovací armatury a tlakové hadice</i>	36
4.3.4	<i>Nádrž</i>	36
4.3.5	<i>Čidla stavu nádrže</i>	36
ZÁVĚR		38

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je vyřešit zapojení vnitřního chladicího okruhu vodní výkonové brzdy Schenck D700 po přesunu ze stávající laboratoře Katedry vozidel a motorů (dále jen KVM) do nové moderní Laboratoře pohonných jednotek v Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace (dále jen LPJ v CxI). V řešeršní části shrnout způsoby chlazení výkonových brzd a uvést praktické příklady z pracovišť, kde tento typ brzd využívají. Z uvedených způsobů navrhnout, zhodnotit a vybrat nejvhodnější variantu. Kritéria hodnocení jsou: funkčnost, spolehlivost, finanční náročnost a ergonomie. Provést výpočty, vypracovat výkresovou dokumentaci pro použití varianty v laboratoři CxI.

Výkonové brzdy se používají při testování pohonných jednotek jako simulace zatížení při běžném provozu. Umožňují zatěžovat motor známými veličinami otáček a kroutícího momentu na stacionárním stanovišti. Brzda Schenck D700 (*Příloha 1*) patří do skupiny brzd vodních, kde odpor vytváří voda protékající soustavou lopatek uvnitř tělesa brzdy. Brzděný výkon se mění na tepelnou energii, která musí být odvedena chladicím okruhem.

1.1 Přehled způsobů chlazení hydraulických výkonových brzd

Je více způsobů chlazení vodních dynamometrů a umístění regulačních a měřících prvků v okruzích. Rozdíly najdeme jednak v koncepcích chladicích okruhů, jednak ve způsobech regulace v okruhu, ale také v hospodaření s odvedenou energií.

Koncepce jsou v zásadě dvě, jednookruhová a dvouokruhová. Jednookruhové chlazení využívá mnohonásobně většího objemu chladicí kapaliny, než je objem okruhu. Teplo z brzdy je sdíleno v tomto velkém objemu a předáváno skrze stěny zásobníku do okolí (lab. KVM) nebo skrze chladicí věže do vzduchu. Nevýhodou tohoto způsobu je velký objem chladicí kapaliny a ztížené podmínky pro zachování kvality vody, která je předepsána pro vodní brzdy. Dvouokruhový způsob využívá, pro předání tepla mezi primárním a sekundárním okruhem, tepelné výměníky.

1.1.1 Chladicí věže

Chlazená voda je rozstřikovávána do prostoru s proudem vzduchu, kterému předá teplo. Používá se pro primární stranu u jednookruhových chladicích zařízení nebo pro chlazení sekundárního okruhu. Chladicí věže se dělí podle způsobu nucení tahu

chladícího vzduchu a dle způsobu předání tepla. Věž může být buď s komínovým nenuceným tahem, nebo s tahem vzduchu nuceným ventilátorem. Uzavřený systém skrápí trubky s chlazenou kapalinou a proud vzduchu odebírá teplo těmto trubkám a skrápěcí vodě. Otevřený systém sprchuje přímo chlazenou vodou, dochází k přímému kontaktu chlazeného média se vzduchem, což je potenciální zdroj nečistot.



Obr. 1: Chladicí věž

1.1.2 Typy tepelných výměníků podle konstrukce

Běžně užívanými typy výměníků jsou:

1. Trubka v trubce
2. Trubkové, též kotlové
3. Spirálové
4. Deskové (pájené, rozebíratelné)
5. Lamelové

Trubkové

Z konstrukčního hlediska je to nejjednodušší typ výměníku. Je určen pro nižší výkony, používá se také pro kondenzaci. Do chladícího okruhu se zapojuje dvěma způsoby, v souproutém a protiproutém zapojení. Protiprouté zapojení je pro větší tepelné spády, než tentýž výměník v souproutém zapojení.



Obr. 2: Výměník typu trubka v trubce

Kotlové, též trubkové

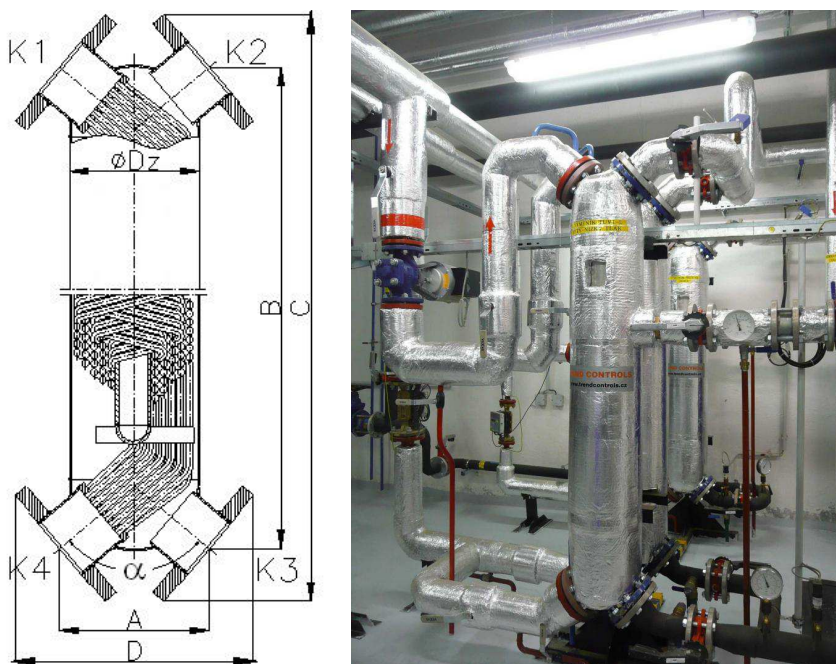
Médium jednoho okruhu protéká svazkem trubek relativně malého průměru, který je umístěn v plášti, trubce velkého průměru. Do tohoto pláště je přiváděno druhé médium a obtékáním trubek uvnitř pláště sdílí teplo.



Obr.3: Kotlové výměníky

Spirálové

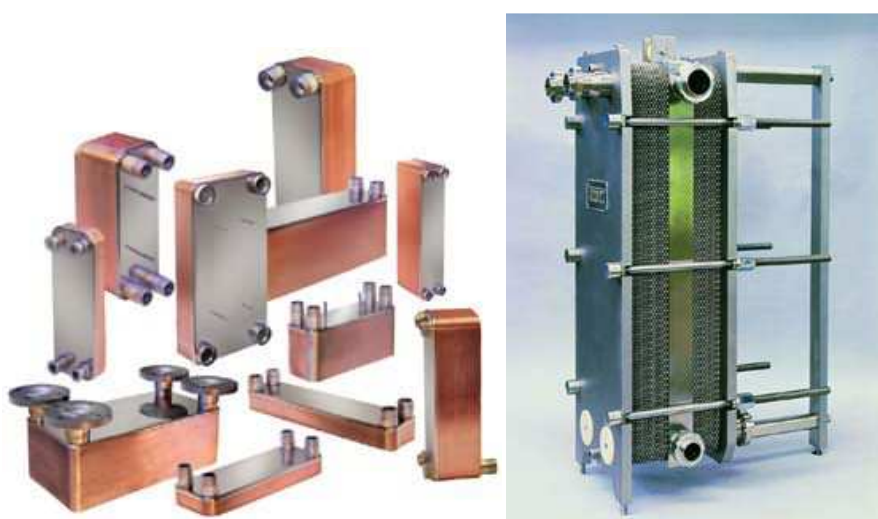
Liší se od kotlových uspořádáním vnitřního okruhu. Místo trubek je tam svazek spirálovitě stočených trubek. Dosahují vyšších výkonů, než kotlové, díky větší teplosměnné ploše a díky vyššímu součiniteli přestupu tepla.



Obr.4: Vlevo uspořádání uvnitř pláště, vpravo zapojený výměník

Deskové

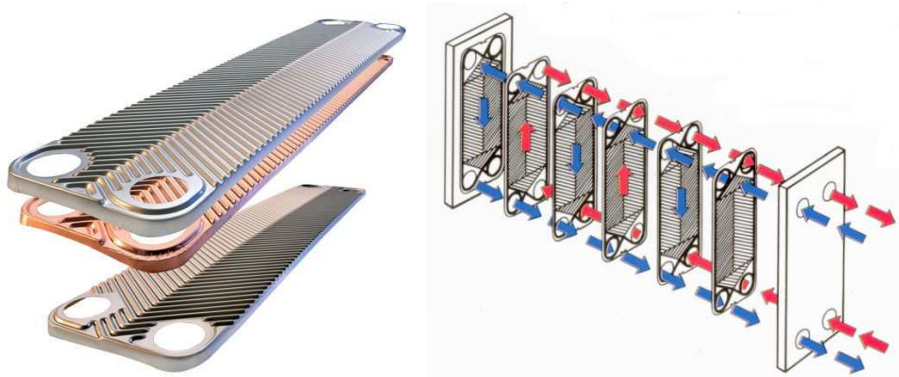
Skládají se z profilovaných plechů, desek. Deskové výměníky jsou dvojího druhu. Rozebíratelné a nerozebíratelné (pájené nebo svařované). Existuje mnoho rozměrových řad, každá v určitém výkonovém rozsahu. Přesnější dělení výkonu se provádí volbou počtu desek ve výměníku. U nerozebíratelných deskových výměníků je tento počet stálý, u rozebíratelných se dá měnit. Rozebíratelné výměníky jsou sice finančně náročnější, ale je možné vyměnit nebo přidat desky a v případě potřeby je vyčistit.



Obr. 5: Vlevo výměníky deskové pájené, vpravo rozebíratelný deskový výměník



Obr. 6: Vpravo umístění desek v pájeném výměníku, vlevo vodorovný řez výměníkem



Obr. 7: Vlevo složení desek ve výměníku, vpravo schéma průchodu primárního a sekundárního média deskovým výměníkem

Lamelové

Teplosměnná plocha kanálů chlazené kapaliny je zvětšena příčnými žebry, lamelami. Kapalina protéká trubkami několikrát napříč, jak lze vidět na obrázku X. Sekundárním médiem bývá nejčastěji vzduch, který nuceně proudí kolmo k trubkám.



Obr. 8: Lamelové výměníky

1.1.3 Regulační prvky

Regulace v chladících zařízeních je závislá na požadavcích výrobce dynamometru a na podmínkách ve zkušebně. Oboje může být značně rozdílné. Také stupeň automatizace může být různý, záleží na vytíženosti brzdy a na velikosti vstupních investic. Reguluje se tlak, teplota a množství protékající kapaliny.

1.1.4 Úprava kvality vody

Kvalitativní požadavky předepisují výrobci výkonových brzd. Zvlášť u jednookruhových chladících oběhů může být zachování kvality vody velkým problémem. Tento okruh obsahuje mnoho míst, kde může ke znečištění dojít. K tomuto typu prvků patří filtry, odkalovací nádoby, cyklónové odlučovače, změkčovače, ale také chemická úprava vody.

1.1.5 Měřicí prvky

Měřenými veličinami jsou tlak, teplota, protékající množství, rychlost proudění v potrubí. Naměřené hodnoty jsou pro kontrolu dějů v systému obsluhou nebo jsou údaji pro regulační prvky.

1.1.6 Čerpadla

Čerpadlo překonává ztráty v potrubí a v jednotlivých prvcích oběhu. Pro návrh čerpadla jsou důležitými parametry dodávané množství a tlak, resp. přepočtené ztráty v potrubí, na ventilech a v tvarových armaturách na tzv. dopravní výšku. Metodika výpočtu je složitá a není předmětem této práce. Každé zapojení a volba typu provedení okruhu má velký vliv na výpočet čerpadla, stejně tak jako druh čerpadla. Je lepší využít služeb výpočtových softwarů.

1.1.7 Nádrže, zásobníky

Při volbě koncepce chladicího systému se volí zároveň i odpovídající typ nádrže, zásobníku. Zásobník mnohonásobně převyšuje objem okruhu, používá se v případě jednookruhového chlazení, popř. je dochlazován chladicí věží. Umístění nádrže má vliv na uspořádání prvků v soustavě a může mít vliv také na stavové veličiny v okruhu. Např. volbou výšky umístění nad brzdové stanoviště se dá významně ovlivnit tlak na vstupu do brzdy (Tedom, a.s.).

1.1.8 Armatury

Spojovací armatury jsou velice důležitou součástí chladících oběhů. Na volbě jejich velikosti závisí odpory při proudění. Jejich chemická odolnost je důležitá při užití

agresivních chladiv. Způsob spojování jednotlivých součástí musí být proveden kvalitně, např. z hlediska těsnosti. Pružné spojení se používá v případě nebezpečí přenosů vibrací nebo jiného nežádoucího mechanického zatížení.

1.1.9 Využití energie

Při zkouškách motorů se uvolňuje odpadní teplo. Z motoru se vyžáří a vysálá až 20% jeho mechanického výkonu. Z vodní brzdy musí být odveden tepelný výkon, jehož velikost je rovna brzděnému výkonu. S rostoucím výkonem motoru roste i velikost ztráty této energie, která by se dala využít. V případě brzd vodních např. pro vytápění nebo pro kogeneraci. V případě brzd vířivých jde o energii v její nejčistší podobě, o elektrickou energii. Její využití je možné ve výrobě. Dala by se dodávat do rozvodné sítě, tomu však brání administrativní překážky.

1.1.10 Stávající řešení

MEZ Servis, Vsetín

MEZ Servis Vsetín je jediným významným dodavatelem příslušenství a služeb k dynamometrům na klíč. Od návrhu, přes realizaci, až po servis a údržbu.

Tedom a.s., divize Motory, Jablonec nad Nisou

Výrobce motorů do autobusů, stacionárních motorů a pohonných jednotek pro kogenerační stanice je firma Tedom, pobočka v Jablonci nad Nisou.

Každý motor před expedicí projde zkouškou na dynamometru. Používají brzdy elektrické vířivé a vodní. Dvouokruhově chlazené, s deskovými výměníky značky Alfa Laval.

Pro regulaci výstupní teploty vodních brzd používají termostatické směšovací ventily, kdy je směšovací poměr nastavován ručně, podle odečtených hodnot z teploměrů a podle zkušeností zaměstnanců. Nevýhodou je nutnost kontroly a riziko přehřátí nebo podchlazení brzdy při nedůslednosti obsluhujícího personálu. Tento způsob je možný v provozu, kde se testují motory stejné výkonnostní třídy. Cirkulaci v primárním okruhu zajišťuje oběhové čerpadlo, které také překonává tlakovou ztrátu zařazeného filtru.

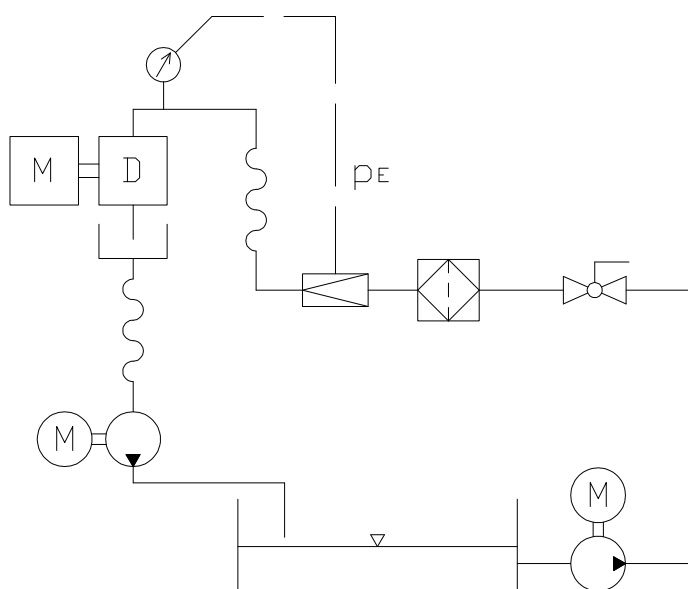
Ve výrobním komplexu má Tedom složitou strukturu výměny, čištění, chlazení a ukládání chladicí vody sekundárního okruhu, včetně čerpání podzemní vody ze základů budov. Je to kombinace starých a nových systémů a hasičského vodního zásobníku. Hasičská nádrž zároveň slouží jako odkalovací nádoba. V TEDOMu postupně přecházejí od starého uspořádání vodního hospodářství k novému, přechod přímo by byl finančně a organizačně velice náročný.

Teplo z brzd je využíváno pro vytápění budovy a v zimě v mimopracovní době proti zamrznutí nádrže s hasící vodou. Elektrický proud z vířivých brzd je spotřebován ve výrobě.

Smysluplně plánovat a provádět hospodaření tepelnou a elektrickou energií je možné díky pravidelnosti prováděných testů.

Laboratoř KVM

V laboratoři KVM je chlazení řešeno jedním otevřeným okruhem, kdy je chladicí voda čerpána z podzemního bazénu o objemu 90m³. Před vstupem do brzdy je voda filtrována a regulátor upravuje vstupní tlak. Dále je přívod opatřen uzavíracím kulovým ventilem, kterým je škrcen proud před regulátorem tlaku. Tímto způsobem, manuálně, je řízen tlak na vstupu do brzdy. Po odebrání tepla z brzdy je voda vypouštěna do vany pod brzdou a odtud odváděna zpět do podzemní jímky. Teplo je předáno vodě v bazénu a odvedeno do okolí. Objem jímky mnohonásobně převyšuje objem chladicího okruhu, což zajišťuje dostatečnou rezervu. Tento způsob je jednoduchý, ale chladicí voda nemá výrobcem brzdy požadované parametry. Zejména požadavky na čistotu vody jsou přísné a v současnosti nejsou dodrženy. Důkazem je silná vrstva vodního kamene a usazenin ve vaně pod brzdou. Nedostatky v úpravě vody před vstupem do brzdy mohou vést k nepřesnému zatěžování motoru při zkouškách a k zanášení chladicích kanálů uvnitř brzdy. Schéma (Obr.1) popisuje současnou situaci v laboratořích KVM.

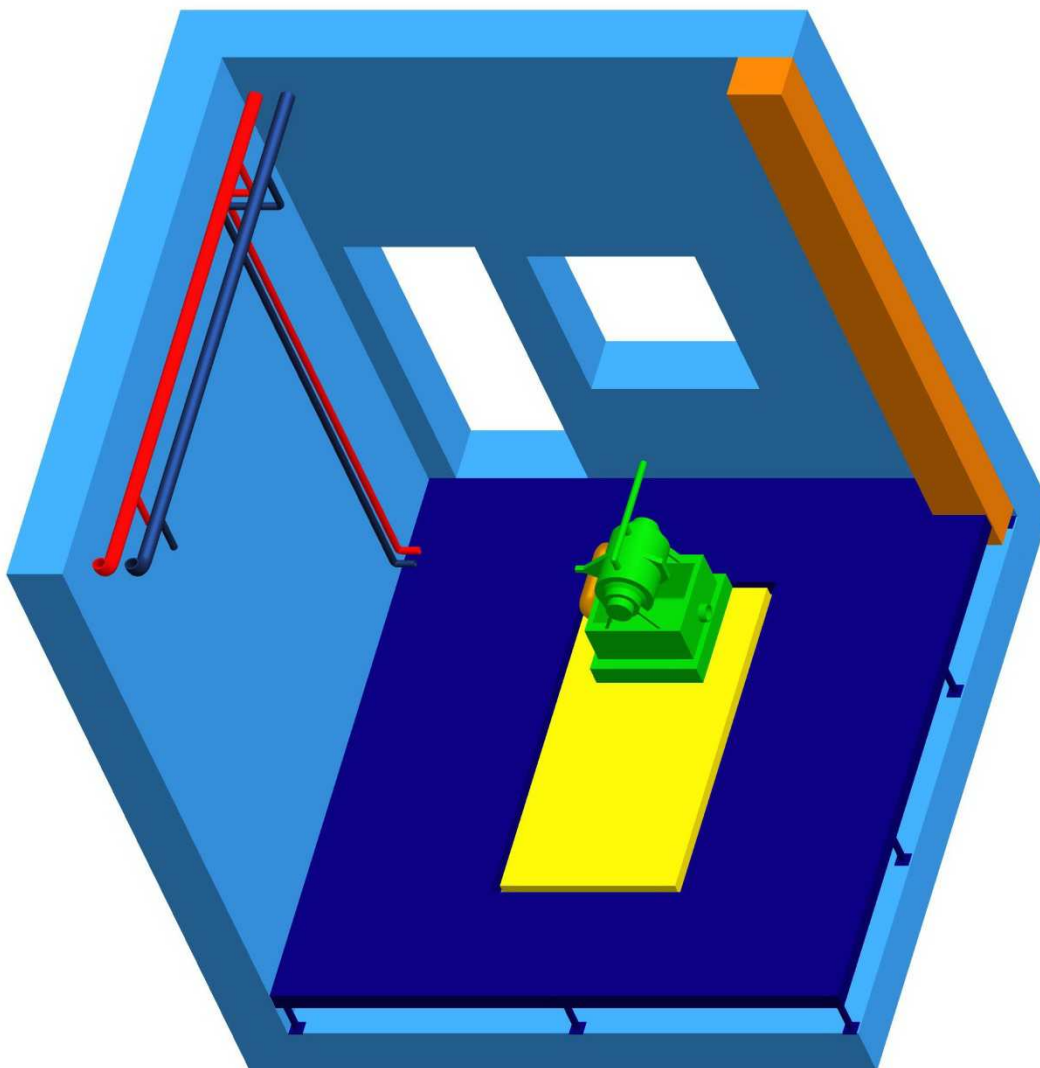


Obr.9: Schéma zapojení v laboratoři KVM

2 Vstupní údaje

2.1 Laboratoř CxI

V nové moderní laboratoři jsou podmínky zcela jiné. Chlazení brzdy bude řešeno dvouokruhově. Primární okruh bude odvádět teplo z brzdy a následně ho v tepelném výměníku předávat sekundárnímu okruhu. Tento okruh je vnější uzavřený chladicí okruh, jehož parametry jsou předem dány výkonem výměňkové stanice.



Obr.10: Motorová kobka s dynamometrem na upínací desce v laboratoři CxI

Prostor LPJ v CxI je rozdělen na malé tepelně a hlukově odizolované místnosti, tzv. motorové kobky. Každá z místností má soustavu energovodů, vzduchotechniku, ochranná čidla a další příslušenství. Podrobněji to jsou palivové přívody (zemní plyn, propan-butan, vodík, benzín, nafta), zdroje elektřiny (230V a 400V), vzduchotechnika (provozní a nouzová), čidla (kouřová, teplotní, zplodinová a čidla detekující únik

plynných paliv), datové sběrnice a zdroj chladicího média (přívod a odvod kapaliny vnějšího chladicího okruhu).

Místnost je opatřena oknem a dveřmi ze strany velínu, v protější stěně jsou dveře dvoukřídlové, určené pro manipulaci s testovanými motory. Brzda proto bude umístěna blíže k velínu. Dno kobky je řešeno jako bezodtokový bazén, který v případě havárie zachytí provozní kapalinu motoru. Soustava čidel snímá teplotu a detekuje přítomnost kouře, zplodin a plyných paliv v kobce. Vzduchotechnika se spouští v závislosti na těchto parametrech.

Chladicí kapalina je jednou větví přiváděna a druhou odváděna. Trubky jsou umístěny u stropu kobky a každá má dvě odbočky (jedna pro motor, druhá pro brzdu), zakončené kulovými ventily. Odtud pokračují trubky podél zdi k zemi, kde jsou opět ukončeny uzavíracími ventily. Pro chlazení brzdy použijeme s výhodou vývody blíže k velínu.

Motor a brzda budou umístěny na upínací desce (125cm x 250cm), která je odpružena vzduchovými pružinami, což zabráni přenosu nežádoucích vibrací do stavební konstrukce. Na stěnách je hluková a tepelná izolace.

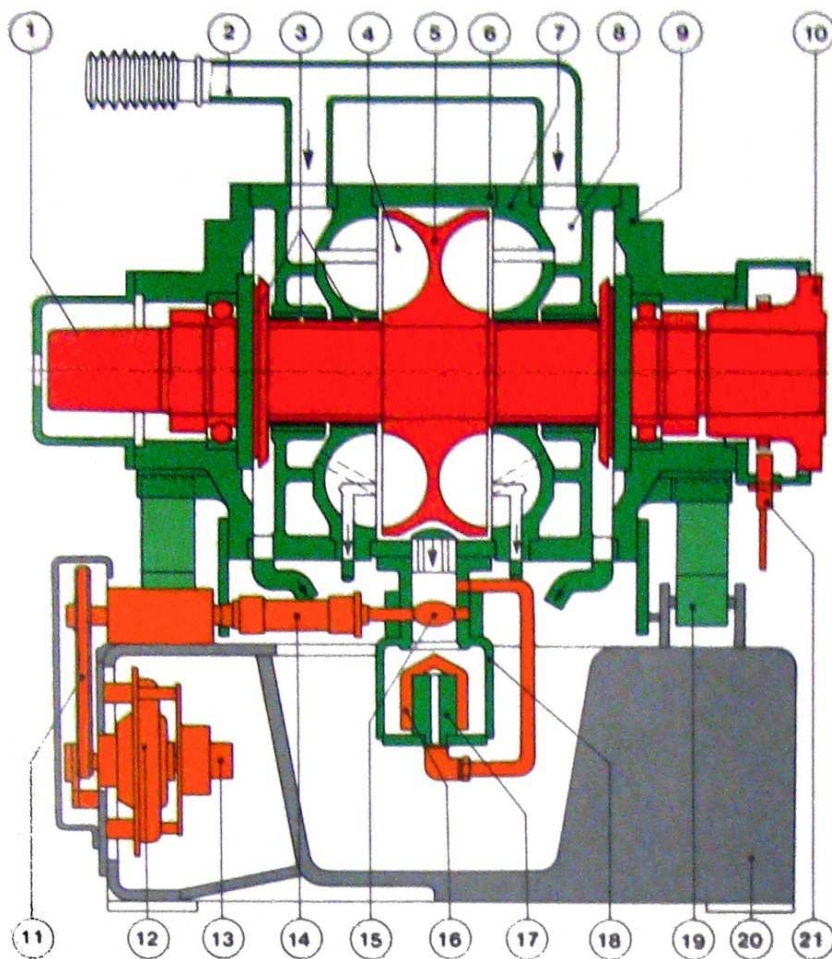
2.2 Tepelná bilance motorové kobky

Pro návrh řešení vycházím z tepelné bilance motorové kobky. Součet všech tepelných zdrojů a jejich vliv na teplotu uvnitř zkušebny jsou zásadním hlediskem návrhu řešení. Se vzrůstající teplotou rostou také náklady na udržování stanovených parametrů prostředí a tím rostou celkové náklady na zkoušky motorů. V případě dynamometru Schenck D700 je množství tepelné energie vyzařené nebo vysávané do prostoru kobky zcela zásadní. Je uvažován případ nejnepříznivější, tzn. testování motoru o výkonu 700kW. Jen samotný motor předá prostředí kóje tepelný výkon 140kW. Dále předávají prostředí teplo všechny součásti teplejší než vzduch.

Z uvedených skutečností vyplývá, že pro udržení stálých parametrů prostředí je třeba použít izolaci na vedení trubek chlazení motoru a chlazení brzdy.

2.3 Manuál brzdy Schenck D700

Originál manuálu vodní brzdy v němčině je k dispozici v knihovně laboratoře KVM.



Obr. 11: Princip funkce vodní brzdy Schenck D700

1	hřídel brzdy	12	regulační ventil
2	přítok vody	13	řídící člen
3	labyrintové těsnění	14	hřídel
4	vírová komora	15	škrtká klapka
5	dvoustranný rotor	16	plovák
6	plášť	17	vodítko
7	stator	18	řídící ventil
8	rozvodové kolo	19	pružina
9	skříň ložiska	20	rám brzdy
10	spojovací příruba	21	otáčkoměr
11	ozubený řemen		

Z překladu části manuálu, týkající se chlazení vodní brzdy, tzn. parametrů chladicí vody a dalších vstupních údajů, vyplývá následující.

Rozdíl teplot na vstupu a výstupu brzdy, průtočné množství chladicí vody, maximální vstupní tlak do brzdy a kvalitativní parametry vody spolu navzájem úzce souvisí.

Klíčovým vstupním parametrem je rozdíl teplot na vstupu a výstupu brzdy. Tato hodnota určuje velikost dodávaného množství a maximální vstupní tlak. Vše vychází z empirického vzorce pro dodávané množství chladicí vody:

$$Q = \frac{175 \cdot 3,6 \cdot 1,36}{1000} \cdot \frac{P}{\Delta t} \quad (1)$$

Vypočítané hodnoty průtoku v závislosti na zatěžujícím stavu a rozdílu teplot jsou znázorněny v Tabulce 1 na další straně. Průtok vody systémem by neměl překročit $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, protože při vyšších průtocích jsou velké tlakové ztráty třením.

Doporučený průtok chladicí kapaliny v závislosti na rozdílu teplot a výkonu brzdy je znázorněn v grafu (*Příloha 4*).

Dané minimální teplotní rozdíly závisí na režimu zatížení brzdy. Při rozběhu je $\Delta t_{\min} = 27^\circ \text{C}$, při testování je $\Delta t_{\min} = 24^\circ \text{C}$. Maximální tlak na vstupu do brzdy je 40 kPa. Při teplotních rozdílech větších než 25°C je vstupní tlak závislý na grafu v *Příloze 2*.

Q [m ³ /h]	Δt [°C]									p ztr [kPa]	
P [kW]	36	34	32	30	28	26	24	22	20	2paralel	1
700	16,66	17,64	18,74	19,99	21,42	23,07	24,99	27,26	29,99	11,87	-
680	16,18	17,14	18,21	19,42	20,81	22,41	24,28	26,48	29,13	11,23	-
660	15,71	16,63	17,67	18,85	20,20	21,75	23,56	25,70	28,27	10,61	-
640	15,23	16,13	17,14	18,28	19,58	21,09	22,85	24,93	27,42	10	-
620	14,76	15,62	16,60	17,71	18,97	20,43	22,13	24,15	26,56	9,42	-
600	14,28	15,12	16,07	17,14	18,36	19,77	21,42	23,37	25,70	8,85	-
580	13,80	14,62	15,53	16,56	17,75	19,11	20,71	22,59	24,85	8,29	-
560	13,33	14,11	14,99	15,99	17,14	18,45	19,99	21,81	23,99	7,76	-
540	12,85	13,61	14,46	15,42	16,52	17,80	19,28	21,03	23,13	7,24	-
520	12,38	13,10	13,92	14,85	15,91	17,14	18,56	20,25	22,28	6,73	-
500	11,90	12,60	13,39	14,28	15,30	16,48	17,85	19,47	21,42	6,25	-
480	11,42	12,10	12,85	13,71	14,69	15,82	17,14	18,69	20,56	5,78	-
460	10,95	11,59	12,32	13,14	14,08	15,16	16,42	17,91	19,71	5,33	-
440	10,47	11,09	11,78	12,57	13,46	14,50	15,71	17,14	18,85	4,9	-
420	10,00	10,58	11,25	12,00	12,85	13,84	14,99	16,36	17,99	4,48	-
400	9,52	10,08	10,71	11,42	12,24	13,18	14,28	15,58	17,14	4,08	15,31
380	9,04	9,58	10,17	10,85	11,63	12,52	13,57	14,80	16,28	3,7	13,88
360	8,57	9,07	9,64	10,28	11,02	11,86	12,85	14,02	15,42	3,34	12,52
340	8,09	8,57	9,10	9,71	10,40	11,20	12,14	13,24	14,57	2,99	11,23
320	7,62	8,06	8,57	9,14	9,79	10,55	11,42	12,46	13,71	2,67	10
300	7,14	7,56	8,03	8,57	9,18	9,89	10,71	11,68	12,85	2,36	8,85
280	6,66	7,06	7,50	8,00	8,57	9,23	10,00	10,90	12,00	2,07	7,76
260	6,19	6,55	6,96	7,43	7,96	8,57	9,28	10,13	11,14	1,8	6,73
240	5,71	6,05	6,43	6,85	7,34	7,91	8,57	9,35	10,28	1,54	5,78
220	5,24	5,54	5,89	6,28	6,73	7,25	7,85	8,57	9,42	1,31	4,9
200	4,76	5,04	5,36	5,71	6,12	6,59	7,14	7,79	8,57	1,09	4,08
180	4,28	4,54	4,82	5,14	5,51	5,93	6,43	7,01	7,71	0,89	3,34
160	3,81	4,03	4,28	4,57	4,90	5,27	5,71	6,23	6,85	0,71	2,67
140	3,33	3,53	3,75	4,00	4,28	4,61	5,00	5,45	6,00	0,55	2,07
120	2,86	3,02	3,21	3,43	3,67	3,95	4,28	4,67	5,14	0,41	1,54
100	2,38	2,52	2,68	2,86	3,06	3,30	3,57	3,89	4,28	0,33	1,09
80	1,90	2,02	2,14	2,28	2,45	2,64	2,86	3,12	3,43	0,22	0,71
60	1,43	1,51	1,61	1,71	1,84	1,98	2,14	2,34	2,57	0,14	0,41
40	0,95	1,01	1,07	1,14	1,22	1,32	1,43	1,56	1,71	0,07	0,22
20	0,48	0,50	0,54	0,57	0,61	0,66	0,71	0,78	0,86	0,02	0,07

Tabulka 1: Hodnoty průtoku $Q[\text{m}^3\text{h}^{-1}]$ chladicí kapaliny a tlakových ztrát výměníků Δp_v v závislosti na zatěžujícím stavu, rozdílu teplot $\Delta t[^\circ\text{C}] = t_E - t_A$ a zapojení chladičů. Zvolený Δt je v tabulce zvýrazněn zeleně.

Proti snaze si pro výpočet určit co největší tepelný rozdíl stojí omezení závislé na kvalitě vody. Výrobce brzdy doporučuje využívat teploty na výstupu brzdy do 50°C, při tvrdosti vody nad 10°dH. Při nižších hodnotách (pod 5°dH) je možné dosahovat teploty až 80°C. Tabulka 2 shrnuje směrnice pro kvalitu vody chlazení.

veličina	veličina	chladičí voda	
		jeden cyklus	cyklicky obíhá ²⁾
hodnota pH	-	7,2 - 9,5	7,2 - 9,5
volný CO ₂	mg/l	< 20	< 3
karbonová tvrdost	°dh ¹⁾	< 10	< 5
celková tvrdost	°dh ¹⁾	< 50	< 80
obsah solí	mg/l	< 2400	< 2400
obsah chloridů	mg/l	< 150	< 150
obsah SO ₃	mg/l	---	< 150
obsah nitrátů	mg/l	---	< 50
obsah železa	mg/l	< 1,0	< 1,0
obsah hořčíku	mg/l	< 0,15	< 0,15
obsah oleje	mg/l	0	0
růst vodních řas	-	nepřípustné	nepřípustné

Tabulka 2: Směrnice pro čistotu vody chladičího okruhu vodní brzdy Schenck D700.

1) 1°dH = 10 mg C a O / 1

1°dH = 1,787°F = 1,25 anglických stupňů

2) Hodnoty pro nečištěnou vodu, ne pro upravenou vodu již v oběhu.

Do přívodního potrubí brzdy je předepsán uzavírací ventil a filtr pevných částic o propustnosti 150µm. Přes uzavírací ventil musí být bypass o minimálním průtočném množství $Q_{\min} = 890 \text{ cm}^3/\text{s} = 53,4 \text{ dm}^3/\text{min}$.

Vyšší kvalita vody umožňuje zvolit vyšší rozdíl teplot, čímž se sníží potřebné množství chladičí vody, tím rychlosti a tlakové ztráty v potrubí. Dále klesne maximální tlak před brzdou, nároky na oběhové čerpadlo a zmenšují se rozměry tepelných výměníků. Nevýhodami jsou nutnost vyčistit brzdu a vanu brzdy od usazenin před instalací do Cxl a potřeba chránit oběh před znečištěním.

2.4 Vyčištění dynamometru před instalací

Čištění brzdy a vany pod ní by mělo proběhnout takto. Nejprve z vany odstranit mechanicky všechny nečistoty, poté brzdu i vanu vypláchnout 5% kyselinou fosforovou nebo šťavelovou. Pro neutralizaci vše propláchnout 1-2% hydroxidu sodného či hydrogen-uhličitanu sodného. A nakonec celek promýt čistou vodou.[2] Popřípadě postup opakovat.

2.5 Rychlosti proudění v potrubí

Pro lepší představu o provozních podmínkách v chladícím okruhu byly vypočteny velikosti rychlostí v armaturách běžných světlostí. Umožňuje to získat lepší přehled nad problematikou tlakových ztrát při proudění a tím lepší orientaci při volbě velikosti armatur. Tabulka v Příloze 3 je souhrnem hodnot rychlostí v potrubí w [m/s], tlakové ztráty Δp [kPa] v potrubí délky 1m a Reynoldsova čísla Re [-].

Výpočet rychlosti vychází ze vzorce pro objemový průtok.

$$Q = S \cdot w \quad (2)$$

$$w = \frac{Q}{S} \quad (3)$$

Hodnoty Δp [kPa] byly získány z webové aplikace na stránkách tzb-info.cz[10].

Re [-] je vypočteno, pro hodnotu $v = 55600 \text{ m}^2/\text{s}$ pro vodu o teplotě 50°C , ze vzorce [6]:

$$Re = \frac{w \cdot d_u}{\nu} \quad (4)$$

3 Návrhy konstrukčních variant

3.1 Prvky

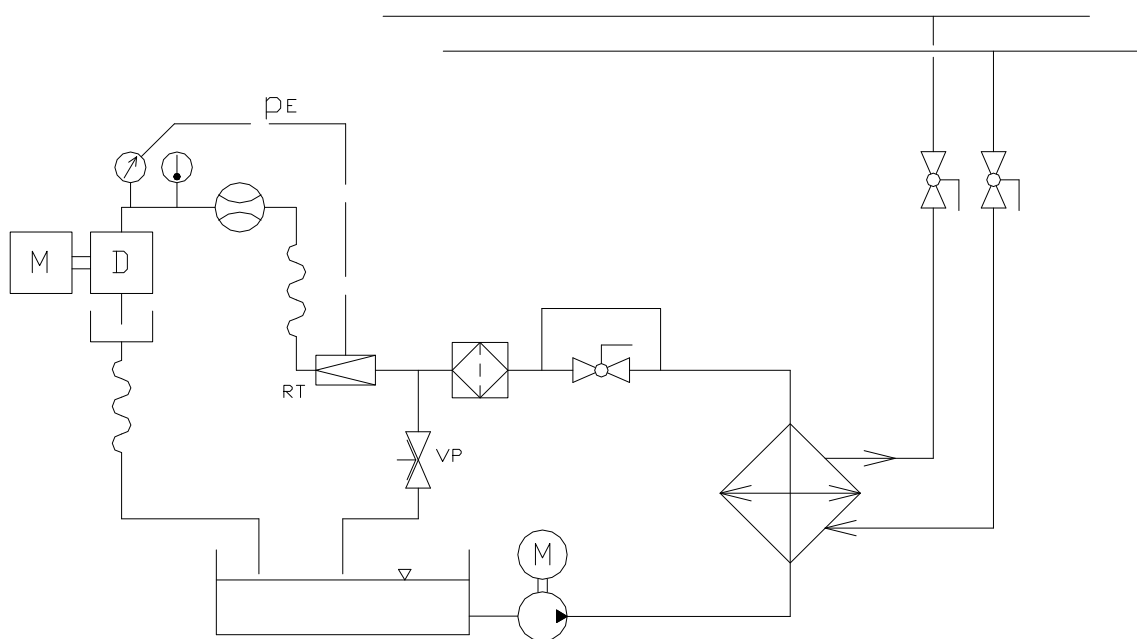
Pro funkční propojení podmínek LPJ a požadavků výrobce brzdy Schenck budou sloužit tyto skupiny prvků chladicího okruhu.

Činné: oběhové čerpadlo, tepelný výměník

Měřicí: manometry, teploměry, průtokoměr, tepelná čidla

Regulační: třícestný směšovací ventil (dvoucestný ventil), PID regulátor, regulátor tlaku, uzavírací ventily

Ochranné: přepouštěcí ventil (ochrana před vysokým tlakem), pružné spojení (ochrana před vibracemi), filtry (ochrana před zanesením vodní brzdy a zadřením čerpadla)



Obr. 12: Schéma zapojení brzdové části chladicího okruhu v CxI s obecně znázorněnou výměňikovou částí

Zapojení prvků činných, ochranných a měřících je dáno požadavky z manuálu Schenck. Způsoby regulace systému chladicí prvků jsou různé. Schéma na Obr. 12 popisuje zapojení prvků dle požadavků výrobce dynamometru, chladicí část je znázorněna zastupujícím výměníkem. Předběžné výpočty ukázaly, že nejlepší variantou bude použití dvou nebo tří výměníků řazených paralelně. Se stoupajícím

výkonem testovaného motoru budou výměníky přiřazovány tak, aby byl k dispozici dostatečně velký chladicí výkon. Větev do výměníků je zkratována z důvodu regulace teplotního spádu brzdy. Při rozběhu brzdy je voda pouštěna zkratem, dokud se systém neohřeje na danou teplotu. Regulací 3CV je pak rozdělován nebo směřován proud ze zkratu a z výměníků tak, aby brzda měla optimální teplotní podmínky.

3.2 Způsob regulace systému

Termostatický směšovací ventil by byl jednoduchým způsobem regulace výstupní teploty z brzdy. Jeho nevýhoda spočívá v měření teploty média protékajícího tímto ventilem, nikoli na místě vzdálenějším. Nepřenositelnost těchto veličin znemožňuje užití termostatické regulace.

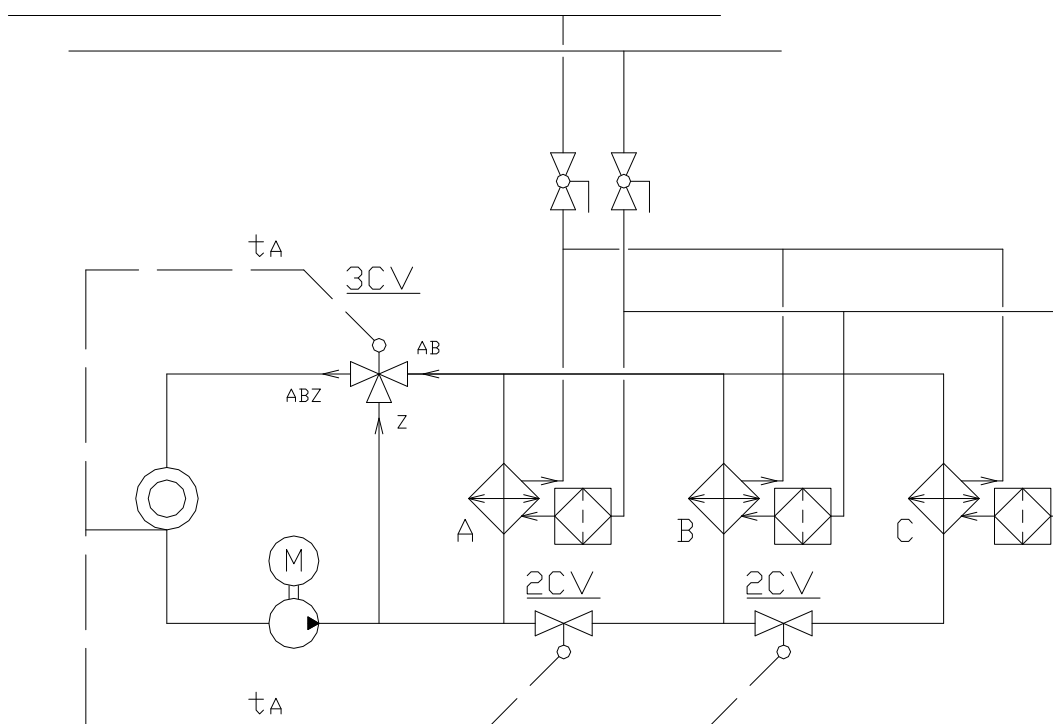
Pro účely řízení by bylo vhodné použít PID regulátor. „**PID regulátor** patří mezi spojité regulátory, složený z **Proporcionální**, **Integrační** a **Derivační** části. V systémech řízení se řadí před řízenou soustavu. Do regulátoru vstupuje regulační odchylka $e(t)$ a vystupuje akční veličina $x(t)$. Přenos regulátoru se vyjadřuje jako poměr těchto veličin.“ [11] PID regulátor nám přenos údajů z měřeného místa do místa regulace umožňuje, i když za cenu vyšších pořizovacích nákladů a vyšších nároků na instalaci a provoz.

3.3 Varianty zapojení

Varianty zapojení se mohou lišit na dvou místech. Jednak v řešení směšování nebo rozdělování proudu ve zkratu a proudu z/do výměníků. Druhým místem je přiřazování dalších výměníků do chladicího okruhu. A to buď kulovými, ručně ovládanými, ventily nebo dvoucestnými ventily s PID regulací. Kombinací všech možností vznikají čtyři varianty zapojení.

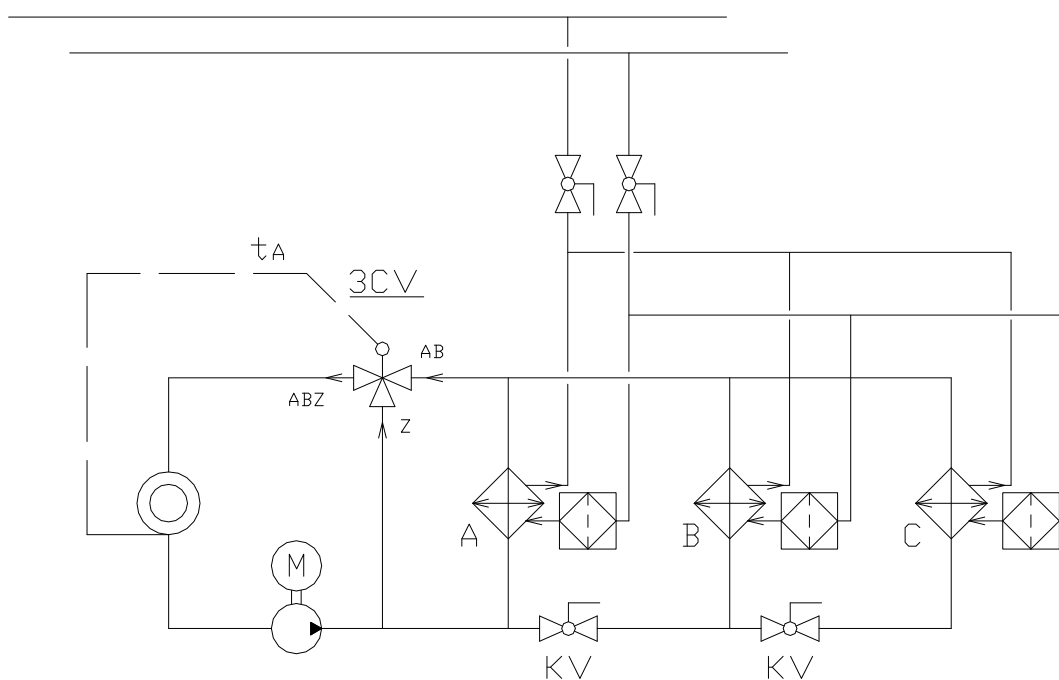
3.3.1 Varianta 1 - 3CV ve směšovací funkci, přiřazování výměníků 2CV

- Výhody:
- plně automatizovaný způsob
 - stabilita regulace
- Nevýhody:
- vysoká pořizovací cena
 - složitost zapojení

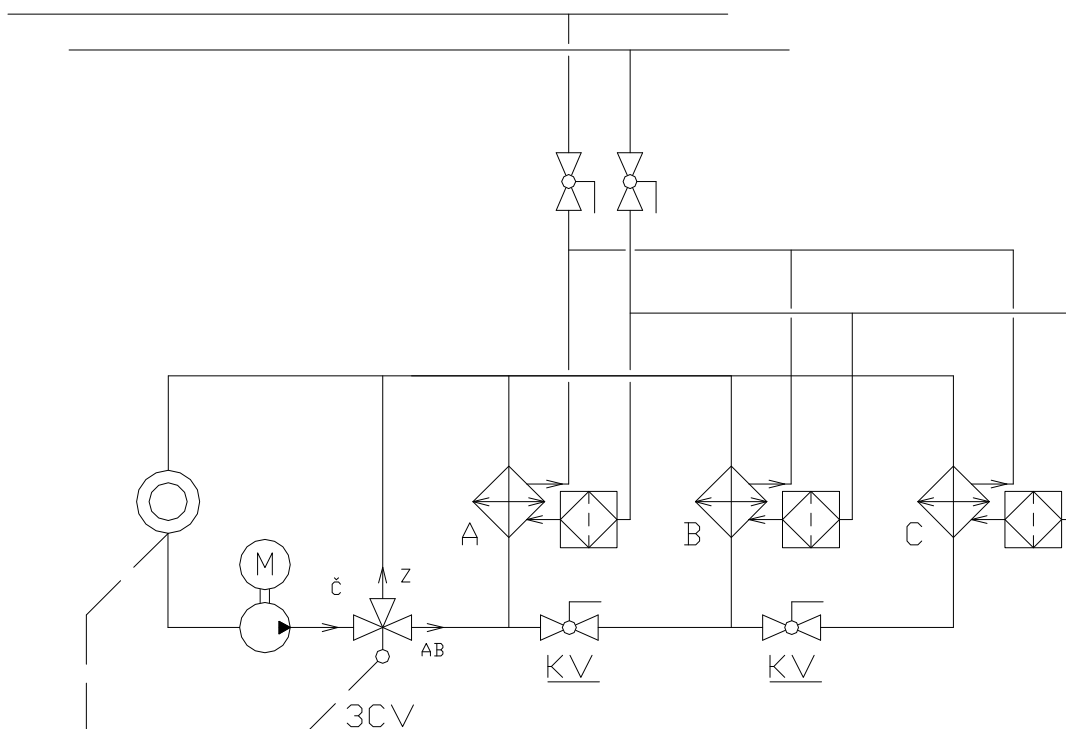


Obr. 13: Varianta 1, schéma zapojení s obecně znázorněnou brzdovou částí

3.3.2 Varianta 2 - 3CV ve směšovací funkci, přiřazování výměníků kulovými ventily



Obr. 14: Varianta 2, schéma zapojení s obecně znázorněnou brzdovou částí



Obr. 16: Varianta 2, schéma zapojení s obecně znázorněnou brzdovou částí

Výhody: - nižší vstupní investice

Nevýhody: - nutnost nastavení počtu výměníků (kvalifikovanost obsluhy)

- dlouhá zpětná vazba, možnost výkyvů

3.3.5 Výběr zvolené varianty

Z představených možností je nejvhodnější Varianta 2. Nízká pořizovací cena, jednoduchost zapojení a přesnost regulace hovoří jasně pro tuto kombinaci regulačních činitelů. Přesnost regulace je zajištěna kratší vzdáleností mezi regulovaným 3CV a místem měření řídicí veličiny. Nevýhoda varianty spočívající v nekvalifikovanosti obsluhy by se mohla projevit, ovšem v jiném provozu. Nedostatečná kvalifikovanost personálu nemůže být v případě pracovníků KVM a CxI argumentem.

4 Technické řešení zvolené varianty

Z finančních důvodů je třeba použít co nejvíce prvků ze zapojení v laboratoři KVM. Při výběru výrobců a dodavatelů ostatních komponentů se bere ohled na kvalitu produktů, jejich spolehlivost, servis, cenu a přístup k zákazníkovi (dostupné informace o výrobcích, komunikativnost). Výkres sestavy: Chladicí okruh, č.v. KVM-BP-143-01.

Při výpočtech postupuji od vstupu do brzdy, kde znám všechny parametry, proti proudu směrem k čerpadlu. Průtočné množství $Q_{\max} = 20 \text{ m}^3/\text{h}$, tlak $p_{E\max} = 40 \text{ kPa}$ a teplota na vstupu do brzdy $t_{E\max} = 28^\circ\text{C}$. Velikosti tlaků před a za prvky jsou dopočítávány tak, aby zůstala zachována jejich charakteristika.

4.1 Činné části

4.1.1 Regulátor tlaku

Bude použit regulátor ze zapojení ve zkušebně KVM. Jedná se o přímočinný regulátor tlaku LDM RD 102V21-110601. Jeho parametry jsou: regulační rozsah 25 až 40 kPa, maximální vstupní tlak 600kPa, maximální teplota 140°C, světlost 40mm, připojení vnitřním závitem $G1\frac{1}{2}$.

Kontrolní výpočet regulátoru výstupního tlaku pro zapojení v CxI

Dáno: médium: voda, 28°C, požadovaný výstupní tlak $p_{RT2} = 25 \text{ kPa}$ až 40kPa, průtok $K_{VS} = 12,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Jmenovitá tlaková ztráta redukčního ventilu Δp_{RT} je volena tak, aby stávající ventil splňoval nové požadavky. Volba vychází z výpočtu jmenovitého průtokového součinitele. [2]

$$K_{VS} = (1,1 \text{ až } 1,3) \cdot K_V = 12,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1} \quad (5)$$

$$K_{V\max} = \frac{K_{VS}}{1,1 \text{ až } 1,3} = \frac{Q_{nom}}{\sqrt{\Delta p_{RT}}} \quad (6)$$

$$\Delta p_{RT\min} = \left(\frac{Q_{nom}}{K_{V\max}} \right)^2 = \left(\frac{20}{9,615} \right)^2 = \boxed{4,326 \text{ bar}} \quad (7)$$

Zvolený tlak je omezený shora přetlakovým pojišťovacím ventilem o otevíracím tlaku 500kPa. Tlak před RT bude v rozsahu 432,6 až 500kPa. Za těchto podmínek je možné použít původní regulátor také v laboratoři CxI.

Požadovaná hodnota výstupního tlaku p_2 se nastaví při montáži seřizovacím šroubem podle údajů na manometru, v tom to případě na dolní hranici rozsahu, tj. 25kPa.

4.1.2 Výměníky

4.1.2.1 výběr typu výměníku

Pro výběr typu výměníků byla použita celá řada zdrojů informací. Technické listy výměníků, katalogy a ceníky firem Secespol s.r.o., SWEP, Alfa Laval a dalších. Vše je přiloženo v elektronické podobě na CD.

Z důvodu malých rozměrů výměníků a vysokých dosahovaných výkonů byly vybrány deskové výměníky, i za cenu vyšších tlakových ztrát.

Při použití kvalitní vody se nepředpokládá výrazné snižování jejich výkonu vlivem znečištění, proto je možné zvolit pájené provedení výměníků. Pro jejich údržbu postačí chemické čištění, viz. kapitola 3.3.

Za dodavatele výměníků byla zvolena firma Secespol s.r.o.

4.1.2.2 zhodnocení kombinací a výběr deskových výměníků

Z nabídky Secespolu byla vybrána kombinace dvou výměníků LC110-60 (*Příloha 8*), zapojených paralelně. Je to nejlevnější varianta splňující požadovaný chladicí výkon 700kW při zvoleném teplotním rozdílu a v porovnání s nízkými tlakovými ztrátami.

Volba kombinace nebyla snadná. Teprve porovnáním ceny výměníků a jejich kombinací, velikostí, tlakových ztrát a přípojovacích rozměrů byl výměník vybrán.

Tabulka (Cairo-varianty.xls) uložená na CD shrnuje hledání nejvýhodnější kombinace.

Přípojovací příruby byly zvoleny největší z možných světlostí, s vnějším trubkovým závitem (DN 50mm, závit G2"). Tato volba zajistí nejmenší možné ztráty třením při proudění kapaliny v trubce. Také se od tohoto rozměru odvíjí volba velikosti armatur.

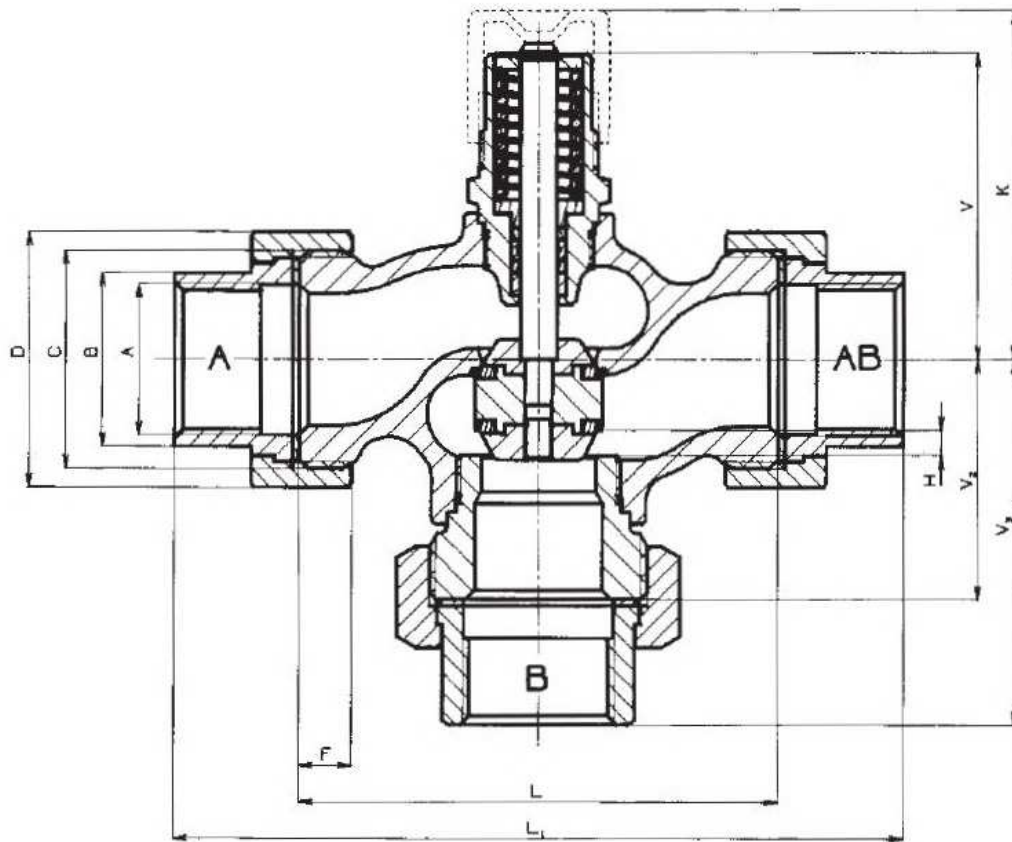
Výměník A je připojen nastálo a je zkratován do směšovacího třicestného ventilu. Výměník B je přiřazován paralelně kulovým ventilem podle potřeby. Chladicí výkon jednoho i obou výměníků je znázorněn v grafu (*Příloha 6*).

Směšování proudů ze zkratu a z výměníků je řízeno PID regulací třicestného směšovacího ventilu. Teplota, která řídí ventil, je měřena na výstupu z brzdy.

4.1.3 Třicestný ventil(3CV)

Dodavatelem 3CV a pohonu pro směšovací ventil byl vybrána fy LDM a.s., Česká Třebová.

Jedná se o třícestný ventil (Obr. 17) zapojený ve směšovací funkci a ovládaný pohonem s PID regulací směšovacího poměru.



Obr. 17: Třícestný ventil LDM, řada RV 111 se závitovým připojením

Postup návrhu třícestného směšovacího ventilu

Dáno: médium voda, 28°C, $\Delta p_D + \Delta p_p = 500 \text{ kPa}$, nominální průtok $Q = 20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

$$\Delta p_{\check{c}2} = \Delta p_D + \Delta p_p + \Delta p_{3CV} \quad (8)$$

$$K_{VS} = (1,1 \text{ až } 1,3) \cdot K_V < 40 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \quad (9)$$

$$K_{Vmax} = \frac{K_{VS}}{1,1 \text{ až } 1,3} = \frac{Q_{nom}}{\sqrt{\Delta p_{3CV}}} \quad (10)$$

$$\Delta p_{3CVmin} = \left(\frac{Q_{nom}}{K_{Vmax}} \right)^2 = \left(\frac{20}{36,36} \right)^2 = \boxed{42,25 \text{ kPa}} \quad (11)$$

Vybereme-li závitový ventil PN 16, z šedé litiny, dostáváme typové číslo:

RV 111R33 11 16/150-50/T neboli **COMAR DN50/3/T**.

Podle požadavků na regulaci k němu vybereme příslušný pohon. [4]

4.1.4 Čerpadlo

Pro návrh čerpadla jsou důležitými parametry dodávané množství a tlak, resp. přepočet ztrát v potrubí, na ventilech a v tvarových armaturách na tzv. dopravní výšku. Metodika výpočtu je složitá a není předmětem této práce. Pro výpočet výtlačné výšky byl použit software firmy e-čerpadla.cz, který je přiložen na CD ve formátu *.xls.

Na trhu je celá řada výrobců čerpadel. Z nabízených splňuje řešené parametry například čerpadlo Halm HUP50-11.0 U 280 DN50.

4.2 Měřicí a řídicí prvky

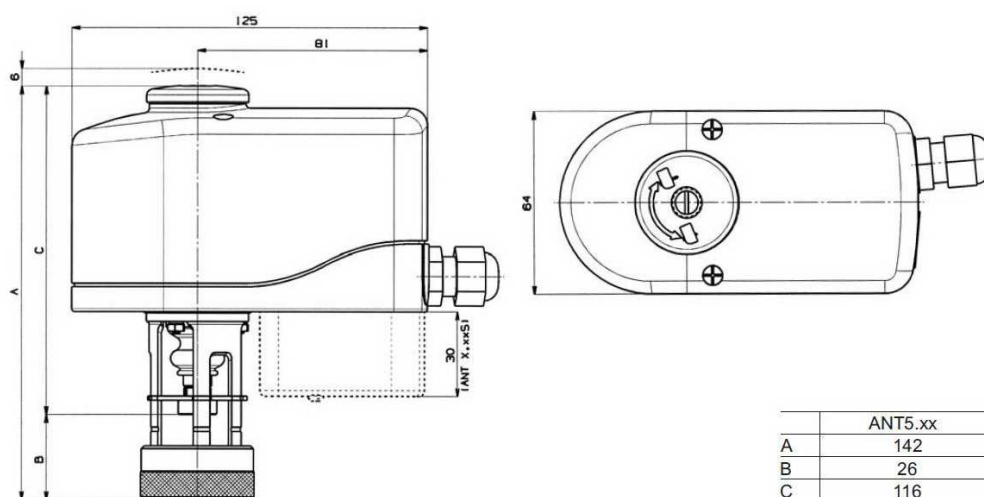
4.2.1 Teplotní čidla

V okruhu chlazení slouží tepelná čidla pro řízení směšovacího ventilu a pro zaznamenávání důležitých údajů při testování. Pro instalaci brzdy v LPJ budou použita čidla ze stávající laboratoře KVM, pro PID regulaci 3CV budou čidla nová. Jsou součástí dodávky výrobce PID regulátorů Comar.

4.2.2 PID řízení směšovacího ventilu

PID regulátor snímá tepelným čidlem na výstupu z dynamometru $t_A[^\circ\text{C}]$. Podle její hodnoty mění lineárně směšovací poměr 3CV.

Pro řízení 3CV byl vybrán elektromechanický samoadaptabilní pohon určený pro řadu RV 111 COMAR line: **ANT5.11S** (Obr.18)



Obr. 18: Rozměry elektromechanického pohonu 3CV

Konstrukcí tohoto ventilu je zajištěna citlivá regulační schopnost i při minimálních změnách teploty. Krajní polohy pohonu se kalibrují zdvihem ventilu. Ovládání 3CV je řízeno přímo a má nastavitelnou nouzovou polohu ventilu, při výpadku elektrického

proudu. Zdrojem energie pro nastavení do nouzové polohy poskytují NiMH akumulátory. Přednastavenou polohou nouzového režimu je pozice „zavřeno“. Pohon je také vybaven ručním kolečkem pro nouzové ovládání. [4] Katalog s detailními informacemi je přiložen v elektronické podobě na CD.

4.2.3 Manometry a teploměry

Teploměry a manometry plní funkci kontrolní a informativní. Při výpadku elektrické energie nebo při jakékoli jiné závadě není možné dlouhodobé zátěžové zkoušky motoru přerušit. V takovém případě by se regulace prováděla manuálně, dle hodnot odečtených z manometrů a teploměrů. Elektromotorické řízení směšovacího 3CV umožňuje nouzovou manuální regulaci (viz výše).

Přetlakový ventil zajišťuje ochranu tlakového regulátoru před vysokým tlakem. V případě překročení nastavené hodnoty přepne regulátor do nouzového režimu.

4.2.4 Průtokoměr

Průtokoměr umístěný před brzdou by sloužil k informovanosti obsluhy o velikosti protékajícího množství a tím lepšímu přehledu o dějích v chladicím okruhu. Z finančních důvodů nebude do okruhu zakomponován.

4.3 Filtrační, spojovací a další

4.3.1 Uzavírací ventily

Pro uzavírání průtoku armaturami byl zvolen kulový uzavírací ventil, pro jeho jednoduchou konstrukci, spolehlivost a dostupnost. Velikosti ventilů jsou zvoleny podle velikosti armatur, na které se připojí.

4.3.2 Filtry

Při výběru filtru bylo důležitým parametrem protékané množství kapaliny. Pouze malá část z filtrů, které jsou na trhu, splňují tyto parametry. Firmy vyrábějící filtry daných parametrů: Atlas Filtri, Itálie a Gel, Itálie.

Z nabídek těchto výrobců nejlépe vyhovuje filtr Gel Depura 3000/OT 2“f, obj.č.:101.170.00. Skládá se ze tří kusů, přičemž jeho horní část, hlavu, tvoří odlitek z mosazi a filtrační nádoba je z materiálu SAN. Filtrační vložka bude nerezová, o propustnosti 90µm, obj.č. 103.020.50.

Tento filtr je vhodný jak pro vstupy do výměníků sekundárního okruhu, tak pro filtraci před brzdou v okruhu primárním.

Katalogy se specifikacemi jsou přiloženy na CD.

4.3.3 Spojovací armatury a tlakové hadice

Spojovací části obvodu budou dvou typů a tří rozměrů. Velikost zvolených spojovacích prvků je dána připojovacími rozměry jednotlivých armatur a jsou volena tak, aby ztráty třením při proudění byly co nejmenší. Pevná spojení jsou řešena běžnými závitovými trubkami, světlostí 40mm, 50mm a 100mm. V místech prostorově komplikovaných propojení pružnými jsou pružné hadice s koncovkami se závity (Meibes, s.r.o.), čímž je dosaženo jednoduchosti při instalaci a nebudou silově namáhána hrdla výměníku. V potencionálních místech přenosu vibrací jsou použity pružné hadice bez koncovek, staženy ocelovými pásky.

Pro obvod budou použity hotové T díly a kolena z nabídky firmy Sova s.r.o., Liberec. Spojování armatur bude provedeno nerozebíratelným způsobem, svářením, protože se nepředpokládá jakákoli manipulace s navrhovaným systémem.

Výtok z vany pod dynamometrem je na výkrese Výtok R4 KVM-BP-143-02.

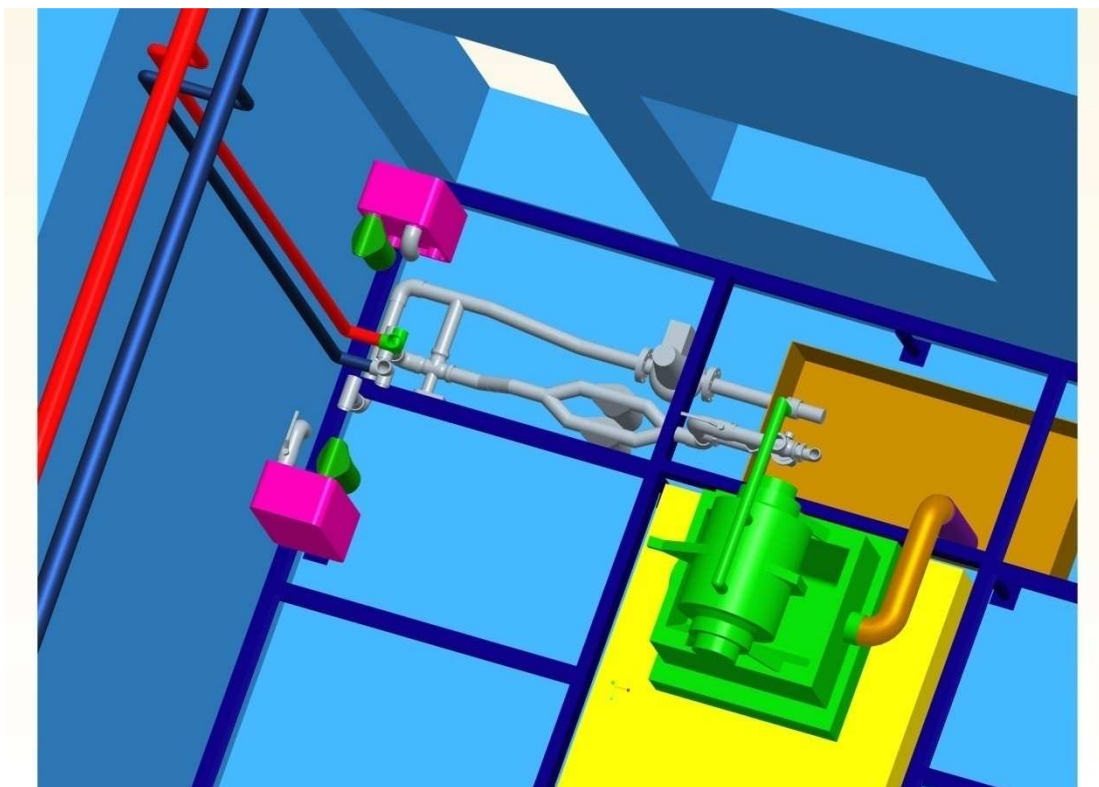
4.3.4 Nádrž

Volba rozměrů nádrže byla dána snahou umístit nádrž pod podlahu z roštů tak, aby se dala vyjmout, a aby dostatečně pokrývala potřeby chladicího okruhu. Z návrhu podlahového roštu, přizpůsobeného skutečným rozměrům kobky a upínací desky, byl zvolen největší prostor pro instalaci nádrže. Objem zásobníku je navržen tak, aby pětinasobně převýšil objem chladicího okruhu. Přívod teplé vody z brzdy je řešen volný přítokem, pružnou hadicí. Odvod do čerpadla a dále do výměníků bude opatřen sacím košem o propustnosti 150 μ m. Nádrž bude chráněna plechovými kryty před znečištěním.

Technická dokumentace: Nádrž KVM-BP-143-03, Kryt nádrže č.v. KVM-BP-143-07.

4.3.5 Čidla stavu nádrže

Aby nedocházelo k přisávání vzduchu do čerpadla, bude nádrž vybavena kontaktními čidly výšky hladiny chladicí vody v nádrži. První čidlo bude snímat kritickou minimální výšku hladiny, druhé bude kontrolovat maximální stav vody v nádrži. Při dosažení mezních stavů to budou čidla hlásit do velínu. Při nejhorší možné uvažované situaci bude nádrž naplněna ze 75% svého objemu. Horní kritická postačí na 90% výšky, tzn. ve výšce 230mm ode dna nádrže. Dolní minimální hranice bude nastavena tak, aby byl sací koš stále pod hladinou. Minimální výška byla odečtena z 3D modelu kobky a chladicího okruhu a činí 90mm ode dna nádrže. Objem v této výšce představuje 48% celkového provozního objemu nádrže.



Obr.19: Chladicí okruh v CxI bez pružných hadic pro lepší přehlednost

4.3.6 Celkové uspořádání

Konečné schéma chladicího okruhu je v *Příloze 7*. Sestavný výkres KVM-BP-143-01 zobrazuje uspořádání okruhu v CxI laboratoři. Okruh je zastavěn do konstrukce roštové podlahy. Voda z brzdy Výměníky obklopují vývody sekundární strany chladicího média tak, aby celek zabíral co možná nejméně prostoru a aby se v případě potřeby dal celek na roštu zakrýt. Chladicí okruh bude připevněn ke konstrukci podlahového roštu. Výstupy a vstupy z okruhu budou procházet rošty ve dvou místech, mezi výměníky u stěny a mezi velínem a odpruženou deskou, co nejbližší k brzdě. Rošty je potřeba pro tyto výstupy upravit.

Okruh tvoří tři celky, oddělené skupiny, které na sebe navzájem nebudou přenášet mechanické zatížení. Jedním celkem je soustava u brzdy, druhým skupina nádrž-čerpadlo-3CV-filtry-RT a třetím jsou výměníky umístěné v rámu.

ZÁVĚR

V úvodní části této práce byly stanoveny cíle práce, analyzovány podmínky předepsané výrobcem dynamometru a popsán způsob řešení chlazení v jiných zkušebnách. Dalšími vstupními údaji byly rozměry nové laboratoře, její vybavení a připojovací parametry chladicího okruhu brzdy. V potaz byla brána také celková tepelná bilance, všechny důležité okolnosti a možnosti, které mohou nastat při testování v motorové kobce. V teoretické části byly rozpracovány metody zapojení chladicího okruhu, jeho sledování a regulace. Na základě zkušeností z provozu a použitím modernějších způsobů řízení okruhu byly navrženy varianty provedení v CxI. Jednotlivé možnosti byly navzájem porovnány a z nich byla vybrána nejvhodnější dle zadání. Byla vybrána ta nejlevnější a prostorově nejúspornější, při zachování vstupních parametrů a požadavků. Také další prvky chladicího systému byly přizpůsobeny tomuto zadání. Výstupem pak jsou výpočty prvků a výkresová dokumentace.

Použitím armatur ze stávajícího řešení byla naplněna snaha o co nejnížší výdaje na realizaci. Využívání nabídek na spojovací součástky, ať T díly nebo pružná připojení, je výsledek snahy o zefektivnění a zrychlení práce při přesunu do nové laboratoře. Použití kvalitních materiálů odpovídá kvalitě budoucího pracoviště, je dbáno na jeho patřičnou technickou úroveň.

Během řešení této bakalářské práce byla celá kobka, příslušenství i chladicí okruh trojrozměrně namodelovány v ProEngineeru (kompletní dokumentace je přiložena na CD). Tento model by se mohl stát základem budoucího řešení podlahového roštu i dalších problémů. Vstupní hodnoty byly naměřeny již v nových prostorách a nebyly tak deformovány nepřesnostmi při stavbě budovy.

Seznam použité literatury

- [1] Beroun, S.: Vozidlové motory, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1999
- [2] SWEP: online katalog produktů, manuál k tepelným výměníkům, <http://www.vymeniky.cz/vymeniky-sweep/>
- [3] LDM, katalog produktů LDM, <http://www.ldm.cz/index.php>
- [4] GEL, katalog filtrů, <http://www.ivarcs.cz/cz/>
- [5] Leinveber, J. - Vávra, P. Strojnické tabulky, 4.doplňené vydání. Úvaly, Albra – pedagogické nakladatelství, 2008
- [6] M. Petříková, P. Kryštůfek: Tabulky a diagramy pro termodynamiku, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007
- [7] Secespol, katalog výrobků, www.secespol.cz
- [8] Secespol, Ceník CZ 2011, Secespol a.s.
- [9] Schneck, C., manuál k dynamometru Schneck D700, Darmstadt
- [10] tzb-info.cz, Tlakové ztráty v potrubí
- [11] Wikipedia, cs.wikipedia.org/wiki/PID_regulátor

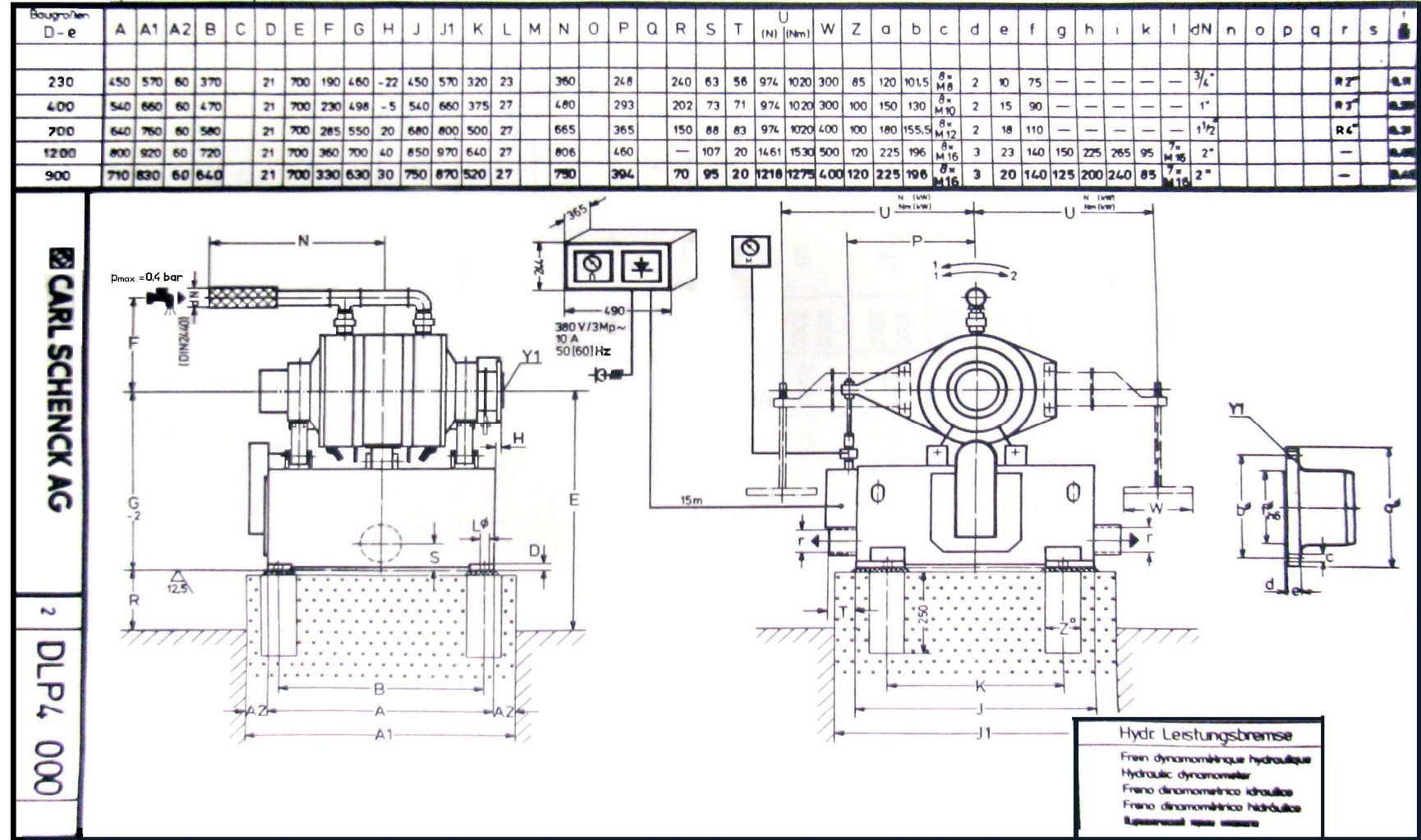
Seznam příloh

- 1) Dynamometr Schenck D700 (výkres)
- 2) Doporučené hodnoty tlaku před brzdou v závislosti na Δt [°C] a provozním režimu. (graf)
- 3) Hodnoty rychlostí v potrubí w [m/s], tlakové ztráty Δp [kPa] v potrubí délky 1m a Reynoldsova čísla Re [-]. (tabulka)
- 4) Doporučené hodnoty průtoku chladicí kapaliny dynamometrem v závislosti na Δt [°C] a P [kW] (graf)
- 5) Souhrn vlastností kombinací výměníků. (tabulka)
- 6) Chladicí výkon v závislosti na vstupní teplotě a počtu výměníků zapojených paralelně. (graf)
- 7) Kompletní schéma zapojení chladicího okruhu v Cxl (schéma)
- 8) Technický list výměníku Secespol LC110-60

Seznam výkresové dokumentace

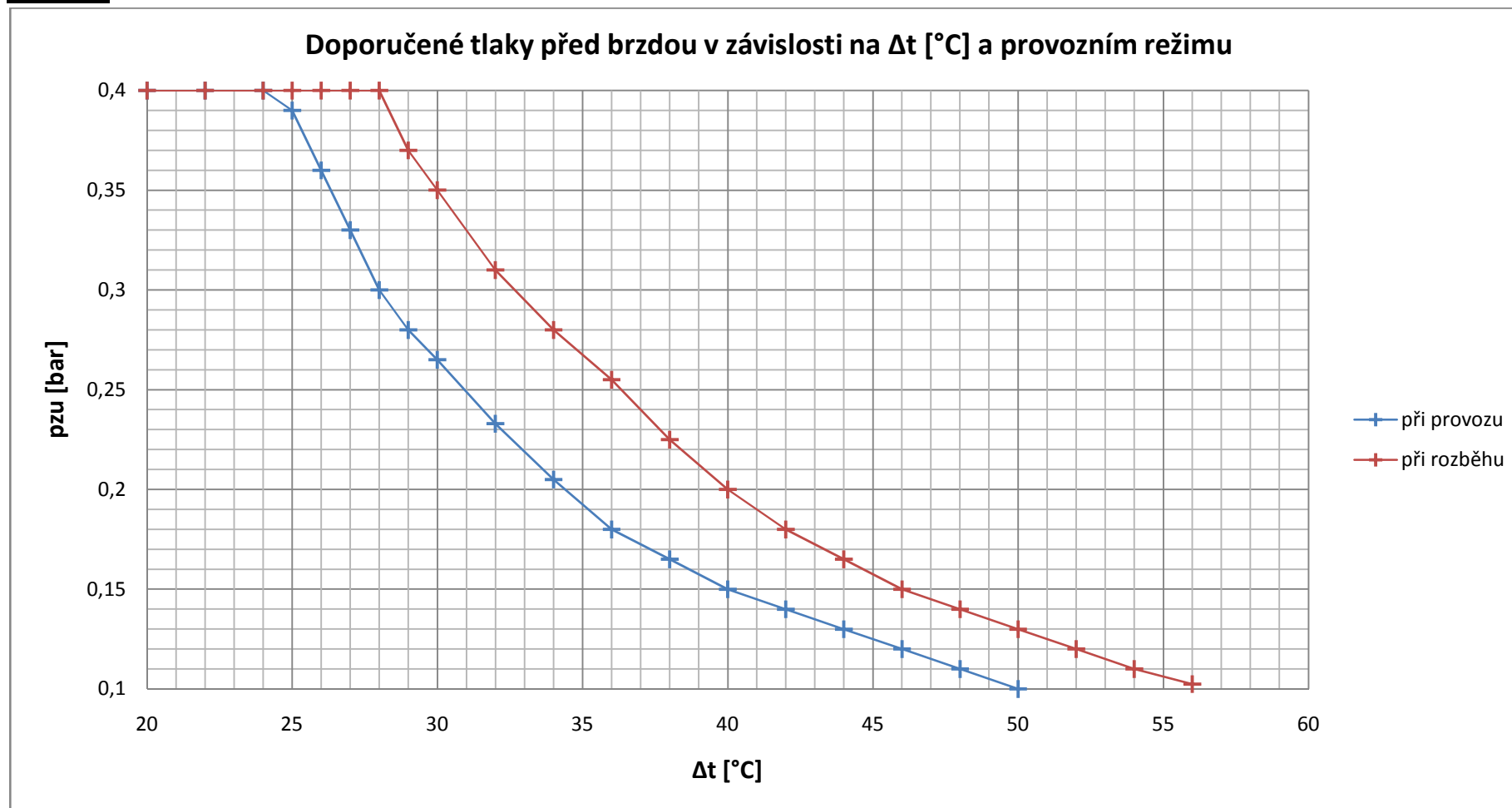
- KVM - BP - 143 – 01 Chladicí okruh – výkres sestavy
- KVM - BP - 143 – 02 Výtok R4
- KVM - BP - 143 – 03 Nádrž
- KVM - BP - 143 – 04 Teplá strana – výkres podsestavy
- KVM - BP - 143 – 05 Studená strana – výkres podsestavy
- KVM - BP - 143 – 06 Výtok z nádrže
- KVM - BP - 143 – 07 Kryt nádrže

Příloha 1



Dynamometr Schenck D700

Příloha 2



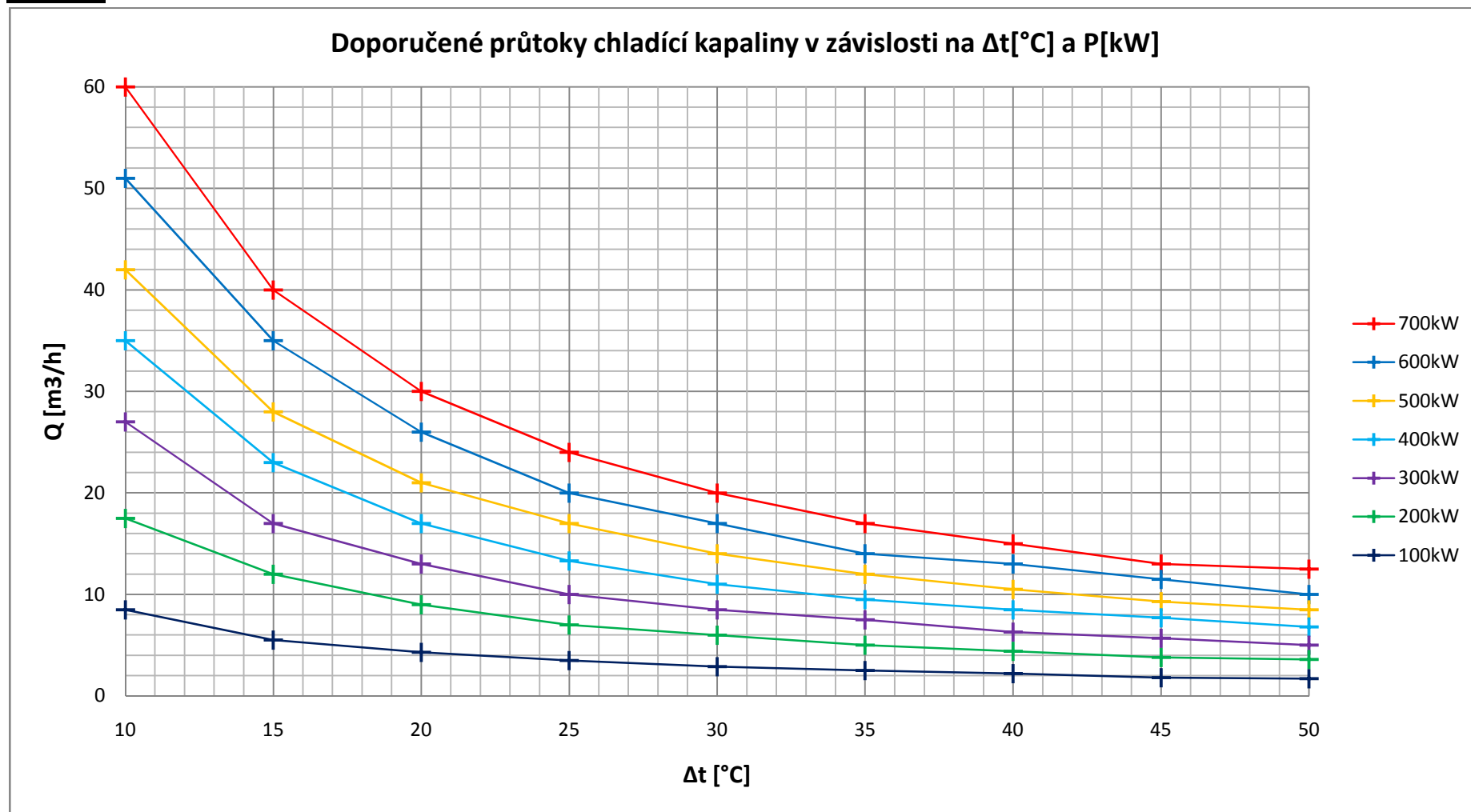
Doporučené hodnoty tlaku před brzdou v závislosti na Δt [°C] a provozním režimu.

Příloha 3

		DN[mm]	15	20	25	32	40	50	60	80	100		
		G["]	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4		
		S[mm ²]	177	314	491	804	1257	1963	2827	5027	7854		
Q[m ³ /h]	5	1,02E+08	57295780	36669299	22381164	14323945	9167325	6366198	3580986	2291831	w[m/s]		
	10	2,04E+08	1,15E+08	73338598	44762328	28647890	18334649	12732395	7161972	4583662			
	15	3,06E+08	1,72E+08	1,1E+08	67143492	42971835	27501974	19098593	10742959	6875494			
	20	4,07E+08	2,29E+08	1,47E+08	89524655	57295780	36669299	25464791	14323945	9167325			
	5	27,47999	20,60999	16,48799	12,88125	10,305	8,243997	6,869998	5,152498	4,121999	Re[-]		
	10	54,95998	41,21999	32,97599	25,76249	20,60999	16,48799	13,74	10,305	8,243997			
	15	82,43997	61,82998	49,46398	38,64374	30,91499	24,73199	20,60999	15,45749	12,366			
	20	109,92	82,43997	65,95198	51,52498	41,21999	32,97599	27,47999	20,60999	16,48799			
	5	46,9	9,9	2,9	0,7	0,3	0,1	0,05	0,01	0,004	Δp_{ZTR} [kPa]		
	10	186	39,4	11,7	2,7	1,2	0,4	0,2	0,04	0,014			
	15	418	88,3	26,2	6,1	2,8	0,8	0,4	0,1	0,03			
	20	744	157	46,4	10,8	4,9	1,4	0,7	0,17	0,05			

Hodnoty rychlostí v potrubí w[m/s], tlakové ztráty Δp [kPa] v potrubí délky 1m a Reynoldsova čísla Re[-].

Příloha 4



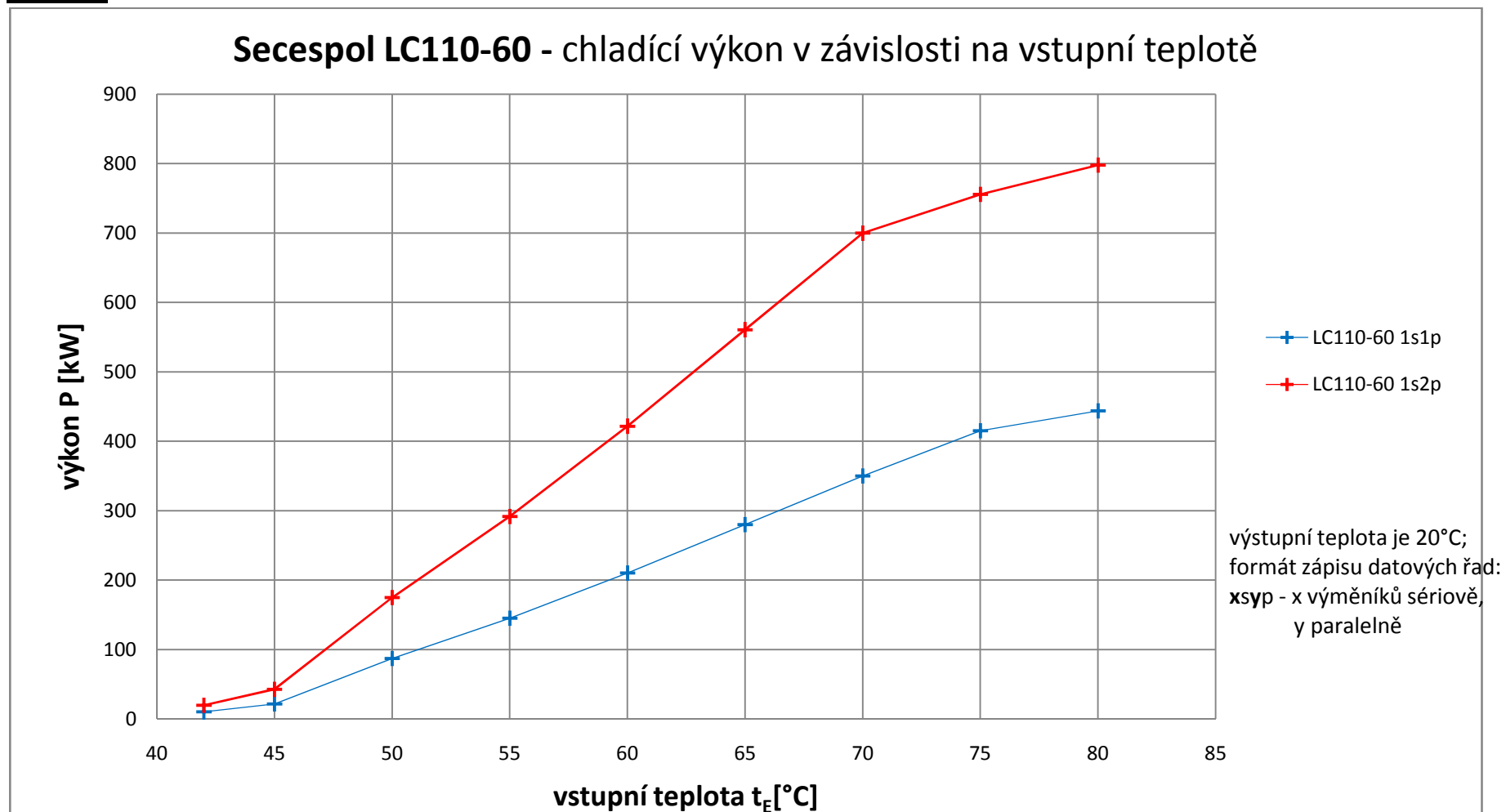
Doporučené hodnoty průtoku chladicí kapaliny dynamometrem v závislosti na Δt [°C] a P [kW]

Příloha 5

teplota	výkon	rezerva	sér.	par.	typ tělesa	bez DPH	s DPH	plocha	tlak.ztr.	počet	cena	max.výkon
[°C]	[kW]	[%]				[Kč/ks]	[Kč/ks]	[m2]	[kPa]	[ks]	[Kč]	[kW]
80	650	8	1	3	LB47-100	21290	25548	14	6,82	3	76644	702
80	650	11	1	3	LB47-110	23120	27744	15,4	6,21	3	83232	721,5
80	650	15	1	3	LB47-120	24980	29976	16,8	5,75	3	89928	747,5
70	650	3	1	3	LB47-120	24980	29976	16,8	8,33	3	89928	669,5
80	650	18	1	3	LB47-130	26830	32196	18,2	5,75	3	96588	767
70	650	6	1	3	LB47-130	26830	32196	18,2	8,3	3	96588	689
80	650	22	1	3	LB47-140	28740	34488	19,6	5,44	3	103464	793
70	650	9	1	3	LB47-140	28740	34488	19,6	7,86	3	103464	708,5
65	650	2	1	3	LB47-140	28740	34488	19,6	9,7	3	103464	663
80	650	3	1	3	LB47-90	19190	23028	12,5	7,64	3	69084	669,5
80	650	37	1	3	LB60-100	27270	32724	19,6	8,04	3	98172	890,5
70	650	23	1	3	LB60-100	27270	32724	17,8	11,63	3	98172	799,5
65	650	15	1	3	LB60-100	27270	32724	17,8	14,38	3	98172	747,5
80	650	42	1	3	LB60-110	29720	35664	21,4	7,22	3	106992	923
70	650	27	1	3	LB60-110	29720	35664	19,6	10,46	3	106992	825,5
65	650	18	1	3	LB60-110	29720	35664	19,6	12,94	3	106992	767
60	650	9	1	3	LB60-110	29720	35664	19,6	16,39	3	106992	708,5
80	650	7	1	3	LC110-40	23210	27852	12,9	3,77	3	83556	695,5
80	650	16	1	3	LC110-50	28430	34116	16,2	2,51	3	102348	754
70	650	4	1	3	LC110-50	28430	34116	16,2	3,62	3	102348	676
80	650	8	1	2	LC110-60	32580	39096	13	4,05	2	78192	702

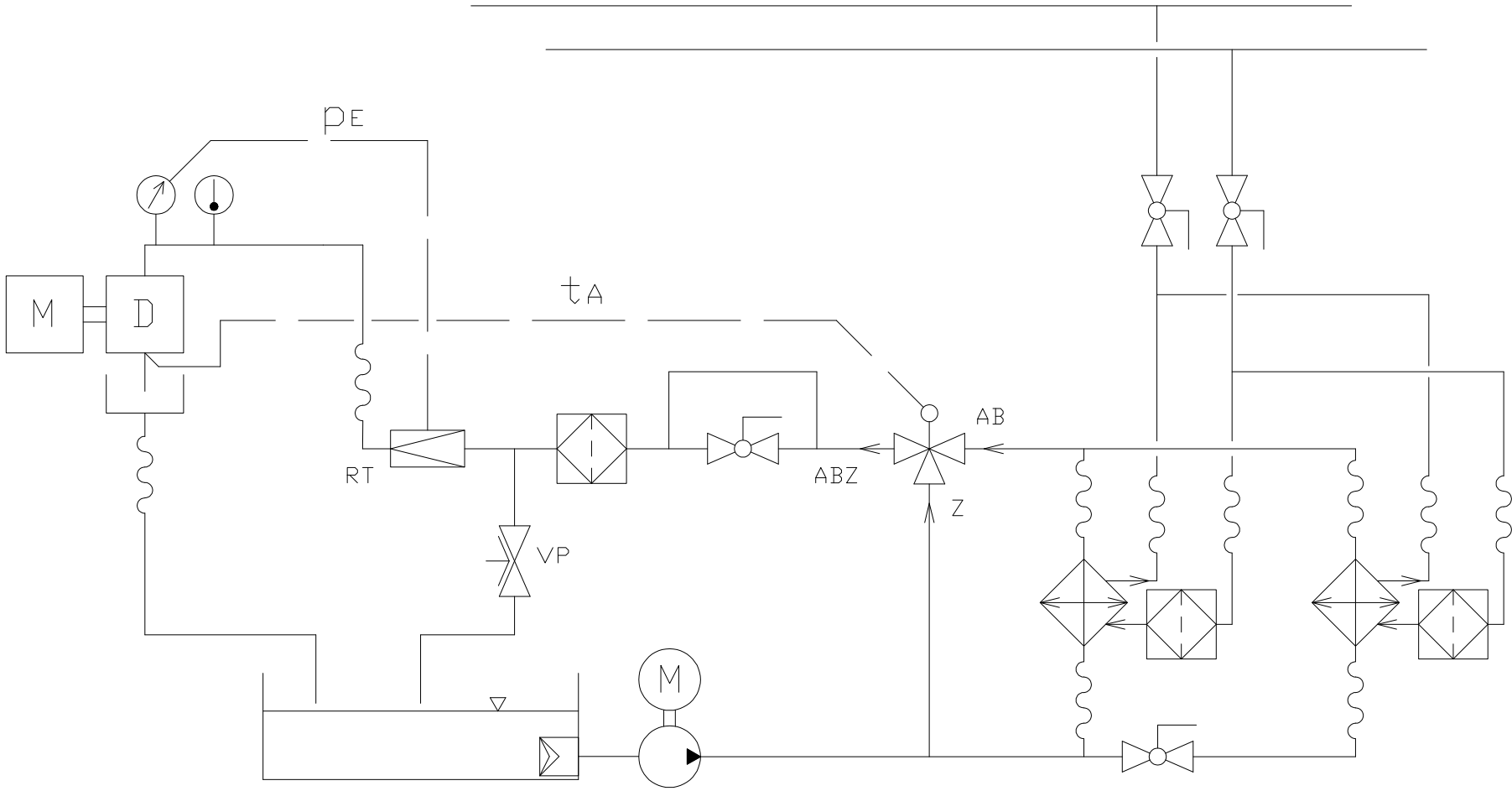
Souhrn vlastností kombinací výměníků.

Příloha 6



Chladicí výkon v závislosti na vstupní teplotě a počtu výměníků zapojených paralelně.

Příloha 7



Kompletní schéma zapojení chladicího okruhu v Cxi